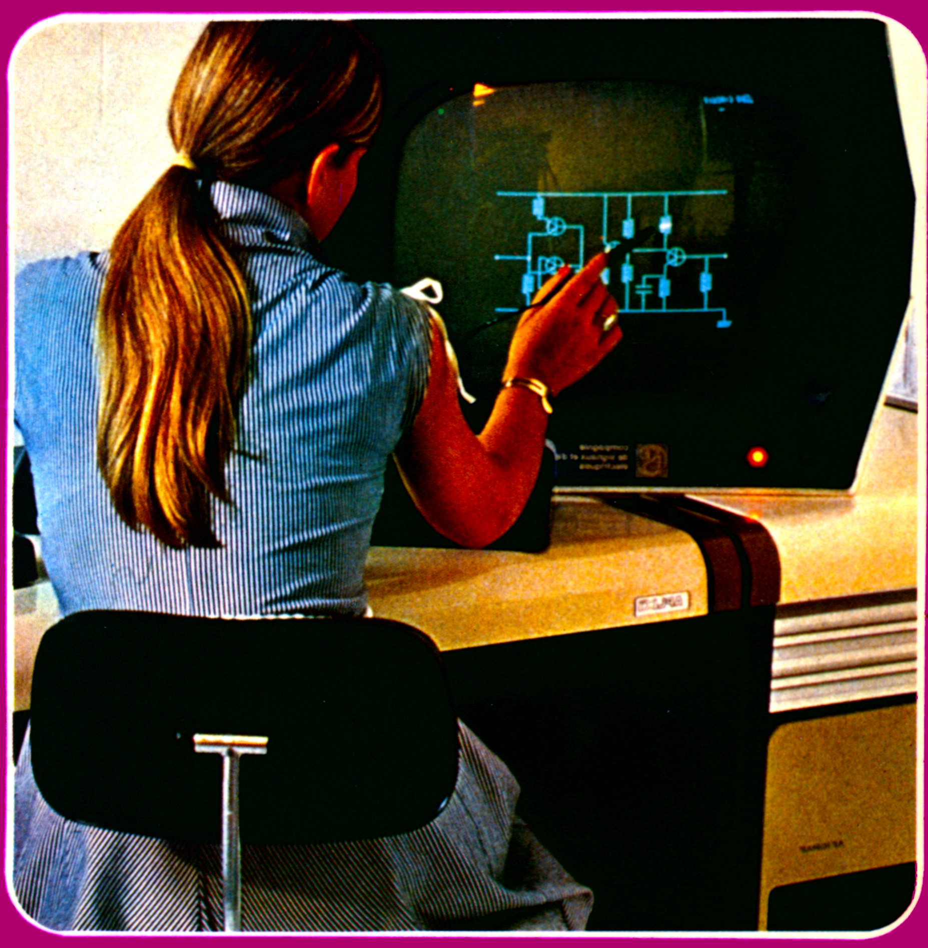
P. MORVAN

l'ordinateur et l'informatique

en 15 leçons



S.E.C.F.
ÉDITIONS RADIO



en 1ère de couverture :
Le système Grafixi (Gixi S.A.) *(cliché CSEE - photo CERVO)*

l'ordinateur et l'informatique en 15 leçons

PIERRE MORVAN

Docteur de l'Université
Ingénieur à la Compagnie
Internationale de Services
en Informatique

l'ordinateur et l'informatique en 15 leçons

avec la collaboration de
MM. Daniel Le ROCH, Henri
LILEN, Bernard MAILHOL et
Yves MATRAS
Dessins de Marie-Thérèse KONY

2e édition



3, RUE DE L'ÉPERON 75006 PARIS
TÉL. 329.63.70 - C.C.P. La Source 340.37.40 H

Editions Radio	Composition C. Monnet (Levallois)
Paris	Impression Berger-Levrault (Nancy) Dépôt légal : 2e trimestre 1981 N° Éditeur 860 - N° Imprimeur 779374
Copyright © 1981	**I.S.B.N. : 2-7091 - 0860-7**

AMI LECTEUR

L'ordinateur et l'informatique en 15 leçons !

A première vue, compte tenu du mystère que nombre de spécialistes laissent planer sur ces drôles de machines et leur mise en œuvre, cette affirmation peut apparaître comme une vue de l'esprit, voire une image.

Pourtant, et nous l'affirmons bien fort, l'ordinateur est une machine toute bête, d'un abord facile et d'une mise en oeuvre sans mystère.

Oh ! évidemment, le vocabulaire associé aux techniques de l'informatique, par sa complexité, tend à confiner celles-ci dans l'hermétisme le plus complet.

N'en était-il pas de même au 17e siècle quand les médecins préservaient leur position ou dissimulaient leur ignorance en parlant latin ?

L'informaticien apparaît encore à certains d'entre nous comme le grand prêtre d'un nouveau dieu : l'ordinateur.

Nous devons briser cette chape qui tend à transformer les utilisateurs de l'ordinateur, en holocauste au nouveau fétiche. Toutes les religions n'ont-elles pas leurs martyrs ?

L'ordinateur est partout. Envahissant tous les domaines il devient rapidement l'excuse de toutes les erreurs humaines. Que de machines ont dû avoir un haut le cœur, électronique bien sûr, en entendant la sempiternelle phrase : c'est la faute de l'ordinateur !

Mais nous ne devons pas regarder le seul revers de la médaille , elle a un avers qui le balance bien.

Votre place d'avion, vos prestations sociales, le calcul de vos impôts, votre machine à laver, votre voiture, etc . . . Tous ces services ou machines font appel aux techniques du *traitement de l'information,* c'est-à-dire à *l'informatique.*

L'ordinateur a su s'imposer dans un domaine de plus en plus vaste et bien vite se rendre indispensable au même titre que le gaz, l'électricité ou l'essence.

Demain il aidera la maîtresse de maison à composer des repas aussi équilibrés que délicieux - enfin espérons-le -, le poète à trouver ses rimes, le musicien à composer, etc . . .

Oui il faut en convenir, l'informatique et l'ordinateur sont partout. Mais loin de baisser les bras devant ce qui pour certains peut apparaître comme une agression, nous devons apprendre à côtoyer la bête informatique, à la maîtriser, à la domestiquer et pour ce faire, à la mieux connaître.

Vous faire mieux connaître informatique et ordinateur, c'est le but que notre petite équipe s'est fixé. Nous voulons que vous maîtresse de maison, secrétaire, médecin, commerçant, enfin tous, vous puissiez rencontrer la «bête informatique» et il ne fait aucun doute, vous la rencontrerez au coin du bois de la vie moderne, en sachant qu'elle est aisément apprivoisable.

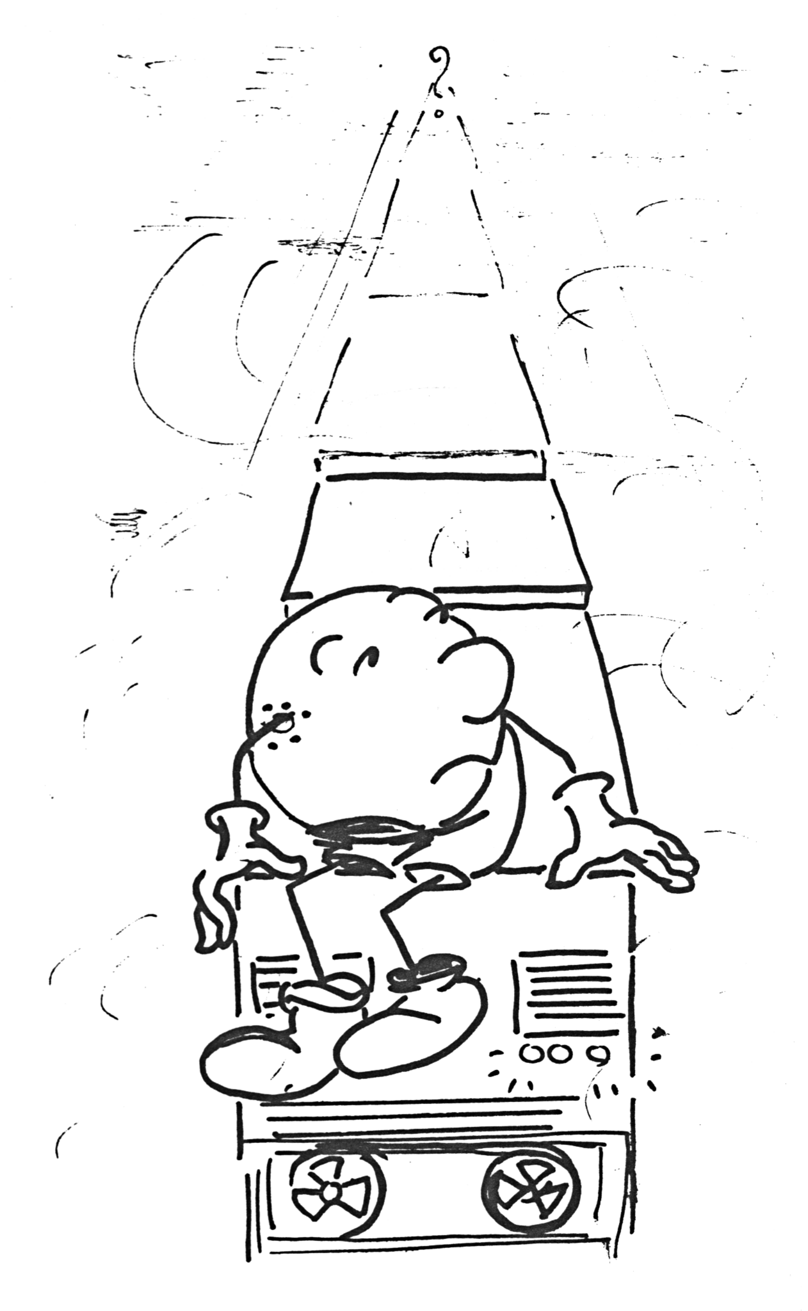
Ainsi maîtrisé, l'ordinateur sera un esclave docile au service de l'homme à qui reviendront les seules tâches nobles et, qui sait, lui apportera un certain bonheur.

Enfin je ne voudrais pas terminer cette lettre sans remercier ici tous les collaborateurs et amis qui ont apporté leur concours à «cette ouvrage». Ils sont, par ordre d'entrée en scène . . . :

Daniel LE ROCH, Chef du Marketing chez TEKTRONIX
Henri LILEN, Journaliste et Ecrivain Scientifique
Bernard MAILHOL, Ingénieur Conseil
Yves MATRAS, Chef de Département au CCETT de Rennes,

sans oublier Marie-Thérèse KONY, dite MARITE, dont les dessins pleins d'humour vous aideront à avaler la pilule . . . informatique et Anne MACHARD de GRAMONT qui a bien voulu relire notre prose avec une fausse naiveté.

Pierre MORVAN
BRUSQUE, Juillet 1977



A LA RENCONTRE DE L'INFORMATION

Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée.
A. de Musset.

Il y a Informations et Informations

Pourquoi automatiser le traitement des informations alors que le cerveau humain possède de larges capacités de mémoire, de traitement et de jugement ? Les limites du cerveau — en capacité et en rapidité — peuvent-elles être considérablement reculées par une machine ? Bien sûr, un ordinateur est capable d'exécuter le traitement très rapidement, traitant par exemple un million d'opérations simples dans le temps que met le cerveau pour effectuer une seule de ces opérations. Ce facteur croît encore avec la complexité des opérations à effectuer et une machine est capable de traiter un très grand nombre d'informations. Mais ça ne suffit pas, loin de là, pour remplir le rôle d'un cerveau humain.

Encore convient-il de distinguer l'information brute que nous côtoyons chaque jour sous les formes les plus variées de l'information très particulière adaptée au traitement par l'ordinateur.

Cette première leçon vous initiera à cette information particulière que nous appellerons «données» avant son traitement par l'ordinateur et «résultats» après ledit traitement.



Le codage de l'Information

De tout temps l'homme a cherché, pour communiquer, à limiter le nombre des informations nécessaires à la compréhension de phrases élémentaires : questions, réponses, aspects, etc . . . C'est ainsi que POLYBE chez les Grecs avait inventé le système alphabétique qui permettait la transmission nocturne de messages par signaux lumineux. L'alphabet était divisé en 5 groupes de 5 caractères. Un mur pouvait supporter jusqu'à 5 torches représentant les groupes. Sur un autre mur, les torches représentaient le caractère dans son groupe.

Les torches allumées déterminaient par leur combinaison un code correspondant à un caractère de l'alphabet et ainsi, caractère par caractère, il était possible d'envoyer un message.

Revenons à des temps plus proches quand Claude CHAPPE, à la fin du 18ème siècle, mit au point son télégraphe aérien. Cette invention avait été prise en considération à l'époque par le fait qu'elle permettait aux chefs diplomatiques et militaires d'obtenir rapidement, un nombre important d'informations. Celles-ci leur permettaient de prendre des décisions quant à la politique et la stratégie à suivre face à leur adversaire. Tout message transmis contenait des informations précieuses et présentait d'autant plus d'intérêt qu'elles étaient précises et nombreuses . . . sous réserve d'un temps clair.

Très vite, il a fallu trouver un moyen de transmettre le message en toute sécurité et sans ambiguité de reconnaissance. D'où la nécessité de travailler sur un nombre restreint de représentations de l'information faciles à distinguer entre elles.

La juxtaposition de ces représentations permet de reconstituer l'alphabet, code utilisé par l'homme pour communiquer.

Un savant allemand, BERGSTRASSER, augmenta la sécurité dans la transmission en représentant les mots par des chiffres. Alors que le système numérique ordinaire aurait exigé un trop grand nombre de caractères, il fit appel à l'arithmétique binaire qui n'exige que la combinaison de 2 signaux pour représenter tous les nombres.

L'Américain S. MORSE a d'ailleurs eu recours, pour son alphabet, à une méthode identique. Il a utilisé deux éléments : le trait et le point.

En fait, la représentation binaire présente une grande sécurité et nous l'utilisons journellement. Ainsi les voyants sur le tableau de bord d'une voiture peuvent être allumés ou éteints.

Mécaniquement, on peut aisément détecter un trou dans une carte ou une bande de papier. Actuellement, de nombreux systèmes électroniques, optoélectroniques et magnétiques permettent de détecter sur un support approprié, la présence ou l'absence d'un élément d'information. Nous verrons plus loin qu'il est très facile, en électronique, de travailler avec un tel mode de calcul. C'est cette méthode de travail appliquée à l'informatique que nous allons décrire maintenant.

0 - 1 : Parlons du binaire

Par définition, l'élément binaire (appelé bit : binary digit), sera représenté par 2 états. Dans un cas la manifestation de l'élément n'existe pas ; dans l'autre elle existe. Par exemple, une lampe est éteinte ou allumée.

Nous avons coutume, en informatique, de représenter l'absence de l'élément par «zéro» et sa présence par «un».

Si nous possédons deux éléments binaires distincts, nous pourrons représenter 4 combinaisons : 00, 10, 01, 11, c'est-à-dire 2^2. Si nous possédons 3 éléments binaires, nous aurons 8 combinaisons 000, 100, etc . . . ou encore 2^3.

Les matheux et les autres . . . déduiront aisément que pour N éléments nous disposerons de 2^N combinaisons. Nous allons ainsi coder en binaire des caractères, des chiffres, etc . . .

Il ne faudra pas être surpris si en informatique on lit la représentation binaire de la droite vers la gauche. Ainsi avec

2ème élément binaire

1er élément binaire		0	1		
	0	0 0	0 1	00, 01	Résultat de la combinaison
	1	1 0	1 1	10, 11	de 2 éléments binaires

3ème élément binaire

Combinaison de 2 éléments binaires		0	1
	00	000	001
	10	100	101
	01	010	011
	11	110	111

Fig. 1. — Combinaison d'éléments binaires

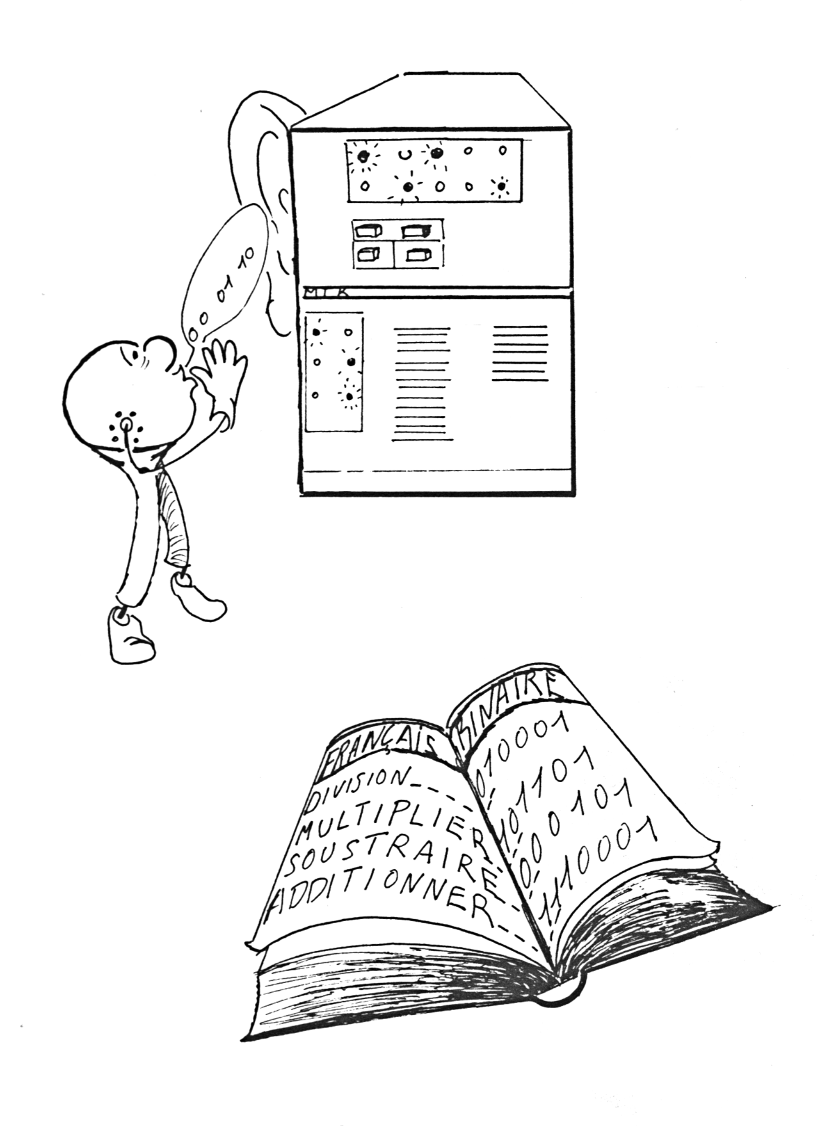
quatre bits on exprimera les chiffres 1, 2, 3 par les notations suivantes :

1 0001
2 0010
3 0011

Chaque position exprimant une puissance de 2 en ordre croissant à partir de la droite :

$$2N, \ldots, 2^3, 2^2, 2^1, 2^0 \text{ soit} \ldots 8, 4, 2, 1.$$

Dans la plupart des ordinateurs on utilisera, pour simplifier les représentations binaires des chiffres, nombres et lettres, des «bases» particulières telles que *l'octal* et surtout *l'hexadécimal.*


0 0 01 10
FRANÇAIS
BINAIRE
DIVISION
MULTIPLIER
SOUSTRAIRE
ADDITIONNER
010001
01101
10101
00101
110001

En octal, de base 8, on utilisera trois bits pour exprimer les chiffres de 0 à 7 :

0 000
2 010
. . . .
6 110
7 111

8 s'exprimera donc par le passage au triplet suivant :

8 . . . . . . 001 000 (soit 10 en base 8)

et ainsi de suite.

En hexadécimal la méthode est identique, mais sur quatre bits, avec une différence toutefois pour l'expression des chiffres décimaux 10, 11, 12, 13, 14 et 15 qui seront représentés par les lettres A, B, C, D, E et F.

9 1001
10 . . . . 1010 . . . . . A
11 . . . . 1011 . . . . . B
. . . .
14 . . . . 1110 . . . . . E
15 . . . . 1111 . . . . . F

Laissons là nos calculs et leurs représentations en octal ou en hexadécimal et revenons à un sujet plus familier : comment représenter l'alphabet sous une forme binaire qui soit commune au plus grand nombre possible d'utilisateurs ?

De nombreuses commissions se sont penchées sur le sujet et un nombre limité de «codes» ont vu le jour. On citera en particulier le code ASCII : American Standard Code Interface Interchange.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ces codes qui ne sont rien d'autre qu'une table de correspondance de lettres, chiffres et symboles divers avec leur expression binaire sur 6,7 ou 8 bits.

Comment coder l'information ?

Le moyen le plus simple est d'utiliser un clavier de machine à écrire, de faire correspondre chaque touche à un circuit électronique qui aura pour rôle de générer le code binaire correspondant au caractère frappé. Dès l'instant qu'une touche est enfonçée, le caractère est codé, puis transmis à l'ordinateur. A partir de cet instant la prise en charge du caractère devient automatique. L'homme peut difficilement contrôler la transmission. Aussi la machine prendra en compte ce contrôle. Nous verrons de quelle façon dans la 14ème leçon, qui traite de l'utilisation à distance de l'ordinateur. Quant à notre caractère, bon ou mauvais, il sera représenté par 6, 7 ou 8 bits. Dans ce dernier cas, on désignera cette représentation codée par le nom *d'octet.*

Nous venons de définir un moyen de transmettre, en la codant, une information à l'ordinateur. Nous côtoyons journellement des exemples de systèmes de traitement automatique de l'information, qui s'apparentent à l'informatique. Il en est ainsi de la machine à laver automatique à programmes, comme du distributeur automatique de titres de transport.

Considérons de plus près ce dernier cas.

Ce qu'il faut savoir, c'est que cette machine a été conçue par l'homme pour répondre à un besoin particulier : encaisser votre argent correspondant au titre de transport choisi, distribuer ce titre, et enfin si nécessaire, vous rendre la monnaie. Pour fournir le titre de transport, la machine a besoin de connaître certaines informations :

1)- déterminer dans une liste de destinations celle qui convient,

- appuyer sur la touche correspondante pour faire connaître à la machine le choix qui a été fait.

2) - sélectionner le nombre ou le type de titre de transport : le billet, le carnet, la carte hebdomadaire, etc . . .

3)- choisir la classe dans laquelle on désire voyager,

4)- indiquer éventuellement les réductions de tarifs autorisées.

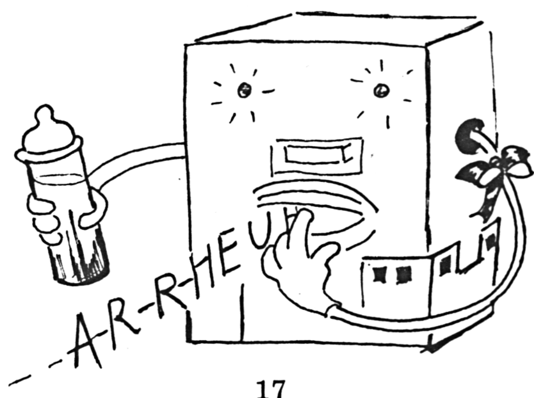
Au cours de ces sélections successives, nous avons fourni à la machine des informations que nous appellerons «données». Dès réception de la dernière donnée, la machine pourra calculer le montant à payer selon les instructions que lui aura fourni son concepteur.

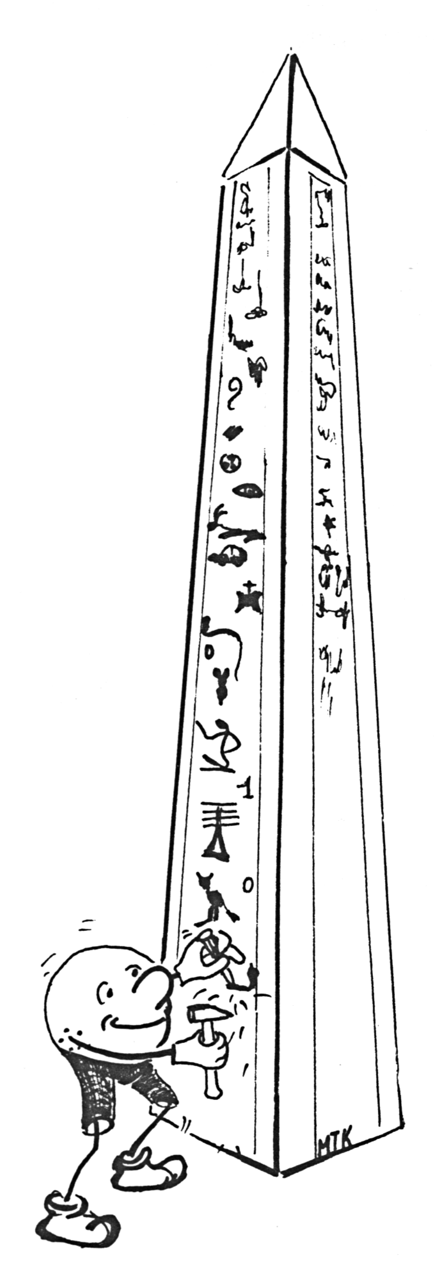
Nous appellerons ces instructions des «programmes». Compte-tenu des informations que vous aurez sélectionnées, la machine affichera le montant à payer, attendra votre monnaie et fournira le titre de transport adéquat.

Les informations à transmettre à l'ordinateur seront du même ordre. Les programmes auront pour rôle de dire à la machine ce qu'elle doit faire, et les données seront représentées par les informations à traiter.

Nous savons comment fournir un caractère à l'ordinateur.

Nous avons vu que les messages à transmettre pouvaient contenir des données et des programmes ; le lecteur devine déjà que l'ordinateur va imposer des limitations dans la nature et la forme des informations à échanger.




MTK

OU L'ON CHERCHE UN SUPPORTER !

Nous savons maintenant représenter l'information sous une forme acceptable par la machine. Mais où mettre ces informations prédigérées ?

Choisissons le bon support

Ces informations seront stockées sur des **supports** que nous allons étudier dans cette leçon, chaque type de support faisant appel à du matériel particulier que nous verrons dans la leçon suivante. Le choix du support se fera selon un ou plusieurs des critères que nous énumérons ci-dessous :

— vitesse d'enregistrement de l'information sur le support,
— vitesse de transfert de l'information entre le support et la machine,
— type d'information : programmes ou données,
— capacité du support, c'est-à-dire quantité d'informations qui peut être stockée sur lui,
— possibilité d'effectuer une mise à jour, c'est-à-dire une modification de l'information contenue sur le support,
— possibilité de transporter avec plus ou moins de risques l'enregistrement de l'information,
— conditions d'utilisation des équipements,
— utilisation plus ou moins fréquente des informations,
— et . . . prix du support.

Les supports passifs

Le matériau utilisé est le papier. C'est le support le plus ancien mais il est néanmoins encore très utilisé. L'information apparaît sous forme de présence ou d'absence de perforation du papier ; les combinaisons des perforations déterminent le


M.T.
K.

codage tel que nous l'avons défini au cours de la première leçon. Il en existe deux sortes : le ruban et la carte.

Le ruban perforé

Le support se présente sous la forme d'un ruban de papier de 25,4 mm de large*, sur lequel les perforations transversales représentent l'octet correspondant au caractère à enregistrer. Une suite de telles perforations correspond à la suite de caractères à entrer dans la machine.

Ce type de support est le moins onéreux et permet une longue conservation de l'information, moyennant un certain archivage ; seule une détérioration mécanique entraîne la destruction du ruban. Pour pallier cet inconvénient, il est possible d'utiliser des rubans dont la résistance est améliorée : papier plastifié, ruban mylar.

Ces derniers sont fréquemment utilisés dans les ateliers de mécanique pour la commande de machines automatiques. Ils offrent une meilleure protection de l'information contre les intempéries et l'usure.

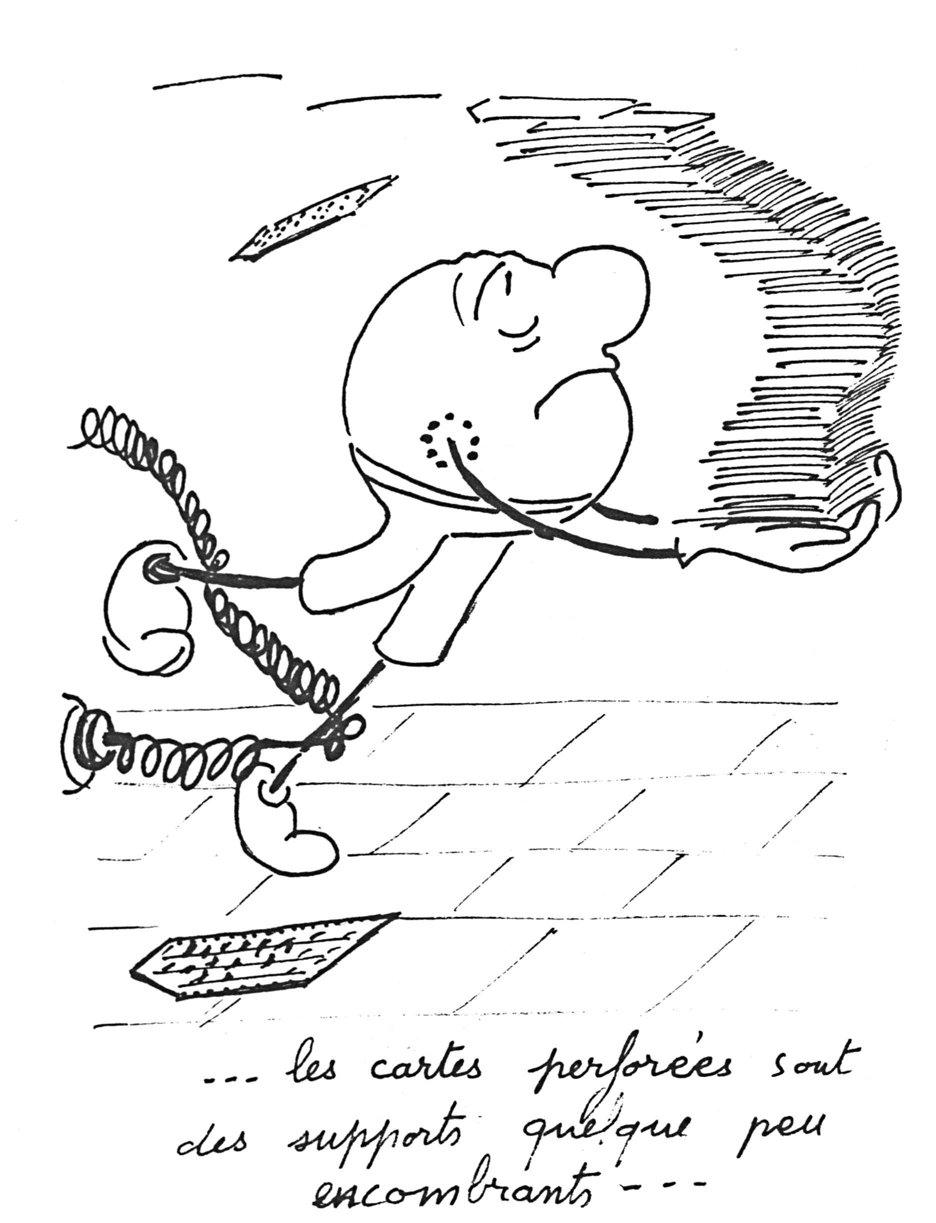
Le ruban perforé est insensible aux fortes perturbations magnétiques de l'espace dans lequel il se trouve. Mais il est très difficile de mettre à jour ou de modifier les informations qu'il contient sans refaire un autre ruban.

La carte perforée

Utilisée dès la fin du siècle dernier aux Etats-Unis, la carte perforée se présente généralement sous la forme d'un rectangle de carton léger de 19 cm x 9 cm. Elle peut contenir 80 caractères, répartis sur 80 colonnes.

La disposition des informations sur la carte doit respecter une réglementation définie par des normes de programmation. Elle présente l'avantage de permettre une mise à jour très facile d'un ensemble de cartes par remplacement pur et

* soit un «pouce».



... les cartes perforées sont des supports quelque peu encombrants ...

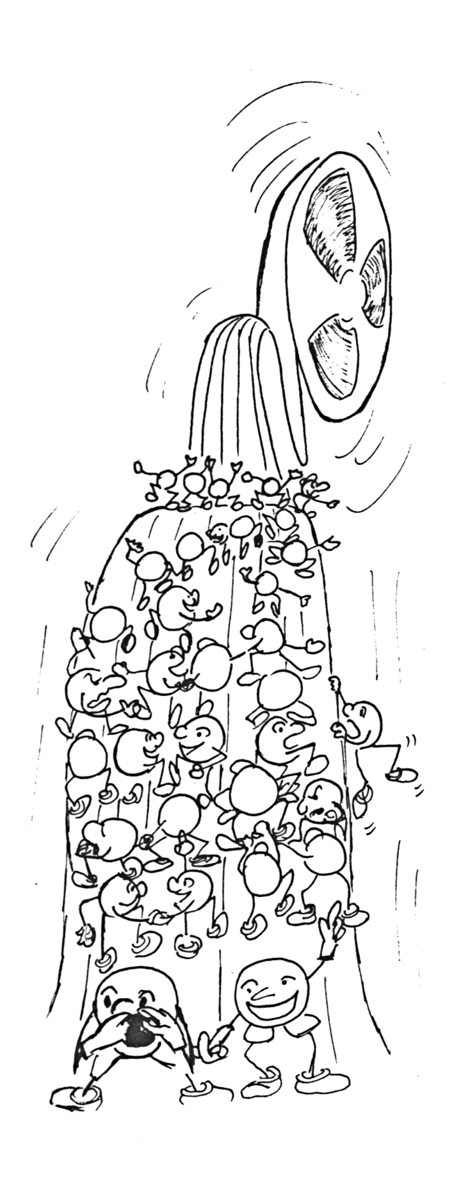
simple des cartes erronées par de nouvelles cartes. Mais un «gros» problème peut nécessiter l'emploi de plusieurs milliers de cartes.

Les cartes perforées sont des supports quelque peu encombrants et lourds (5,4 kg pour une boîte de 2000 cartes). Notons que certains constructeurs d'ordinateurs recommandent l'utilisation de cartes de petit format.

La nécessité d'améliorer la saisie de l'information a fait naître de nouveaux supports dérivés de la carte perforée et mieux adaptés à des besoins particuliers. Ainsi, dans la confection, on utilise de plus en plus les étiquettes perforées : une telle étiquette contient tous les renseignements concernant un article donné : sa référence, sa taille, son coloris, son prix ; dès que l'article est vendu, l'étiquette perforée est transmise au service de la gestion de stocks, qui, à partir des étiquettes, déclenche les actions nécessaires (réapprovisionnement, relance de fabrication, etc . . .)

Les équipements permettant la perforation des cartes sont lourds et encombrants. Pour pouvoir saisir l'information «sur place», il existe des cartes pré-perforées, pour lesquelles la simple pression d'un stylet sur une case réalise une perforation à l'emplacement de cette case. Vous avez pu voir ainsi des enquêteurs, dans la rue ou au cours d'une exposition, coder directement les réponses données aux questions qu'ils posaient. Les informations sont dès lors disponibles sans autre manipulation pour être traitées ultérieurement par la machine.

Dans le cas des rubans et cartes perforés, la représentation de l'information se fait par la présence ou l'absence d'une perforation à un emplacement donné. Il existe des supports utilisant aussi du papier. Les informations se trouvent alors sous forme de repères ou de caractères marqués sur le papier. Ainsi, pour utiliser une «carte marquée», il suffit de tracer à l'aide d'un crayon un bâtonnet dans les cases correspondant aux codes à transmettre. L'évolution de la technique de «lecture optique» permet aujourd'hui à certaines machines de «lire» directement les informations tracées sur papier, moyennant un certain nombre de précautions et surtout des contraintes dans le tracé des caractères, le choix de l'encre, du papier, etc . . .



Les supports actifs

Nous avons vu que le support papier, utilisé depuis longtemps, ne permettait pas d'effacer l'information perforée, à moins de reboucher les trous . . . Nous allons maintenant découvrir des supports qui autorisent la correction des erreurs et un effacement aisé des informations : ce sont les **supports actifs.**

Les supports magnétiques

Les supports papier utilisaient, pour représenter une information, la présence ou l'absence d'une perforation ou d'une marque en un point donné du support. De même, les supports magnétiques utilisent le fait qu'une surface donnée du support soit magnétisée ou non.

On appellera «écriture» sur un support magnétique le fait d'enregistrer des informations sur le support en magnétisant les parties adéquates, conformément aux codes d'enregistrement. On appellera «lecture» l'opération qui consiste à reconnaître les parties préalablement magnétisées. Les techniques utilisées sont semblables à celles employées pour les magnétophones «grand public». Il est donc possible d'effacer des informations ou d'écrire de nouvelles informations. Ceci est une caractéristique d'intérêt majeur, permettant la mise à jour des informations et la réutilisation éventuelle du support.

Il existe deux grandes classes de supports magnétiques : **les bandes et les disques.**

La bande magnétique

Elle est constituée d'un ruban plastique mylar en polyester étiré dont la surface de travail contient un certain nombre de pistes couvertes d'oxyde magnétisable. Les deux caractéristiques principales d'une bande sont, d'une part, le nombre de ses pistes (7 ou 9), d'autre part, la «densité» d'enregistrement de la bande, c'est-à-dire la quantité d'informations que l'on peut enregistrer sur une longueur de bande donnée.

Cette densité s'exprime en bits par pouce et par piste (bit par inch, en abrégé BPI). Les bandes utilisées couramment ont une densité de 800 BPI ou 1600 BPI.

Remarquons les rapports entre la densité sur une bande magnétique et sur une bande papier : sur une longueur définie de bande magnétique, il est possible d'enregistrer 150 fois plus d'informations que sur la même longueur de bande papier.

La longueur de la bande magnétique peut varier, selon l'usage auquel elle est destinée, de 65 à 195 mètres pour les bandes courantes, de 390 à 780 mètres dans le cas d'utilisation telles que le traitement de données volumineuses.

La minicassette

Dans le domaine «grand public», la cassette remplace petit à petit la bande magnétique dans de nombreux cas. Il en est de même en informatique ; initialement, les cassettes utilisées étaient identiques à celles contenant des enregistrements musicaux ; mais de notables améliorations leur ont été maintenant apportées, en ce qui concerne les trois points suivants :

— augmentation de la vitesse de déroulement de la bande,
— augmentation de la densité de stockage de l'information,
— marquage de la bande, afin de retrouver rapidement, à l'aide de repère, l'information recherchée.

Tout ceci existait déjà sur la bande magnétique mais les avantages apportés par la cassette sont un faible encombrement, une bonne maniabilité et la mise en oeuvre de matériels de moindre coût.

La cassette la plus ancienne et la plus couramment utilisée est la cassette répondant aux normes ECMA. De nouvelles cassettes ont vu le jour, telle que la cartouche magnétique 3 M apportant une amélioration dans le système de déroulement de la bande, augmentant donc sa fiabilité. Cette cassette, d'un format supérieur, permet d'enregistrer jusqu'à un million d'octets. Les utilisateurs préfèrent cependant parfois sacrifier la capacité à la sécurité : ils n'utilisent alors que la moitié ou le quart de la capacité totale, ce qui revient à la capacité de la cassette standard ECMA (256 K octets).

Les cartes magnétiques

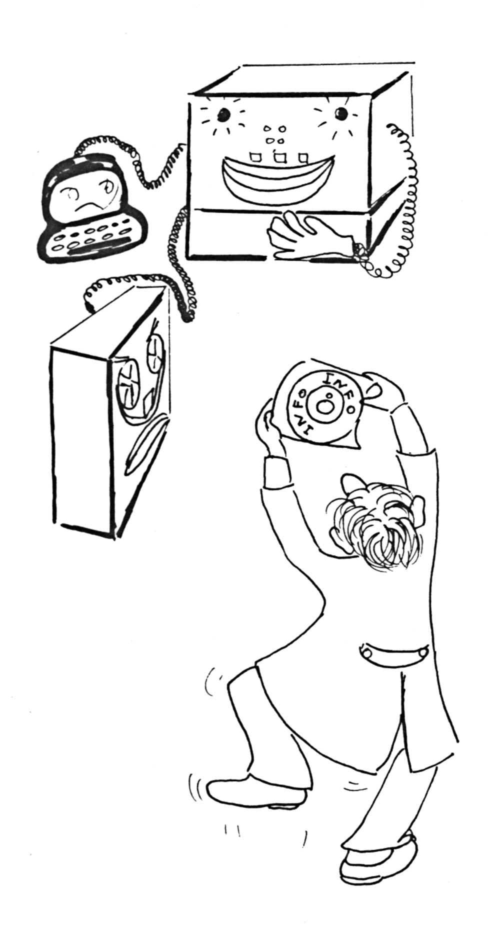
Par analogie avec la carte perforée, notons qu'il existe des cartes magnétiques. Elles sont aujourd'hui très peu utilisées en informatique, et pas du tout au niveau de la saisie d'information. Par contre, les cartes de crédit, les laisser-passer, les badges, les cartes d'horaires variables, etc . . . du type cartes magnétiques, sont d'un emploi analogue à celui de l'étiquette perforée que nous avons mentionnée au niveau des supports passifs. Il en va de même des documents à piste magnétique.

Les cartes magnétiques, de faible capacité, ne peuvent être utilisées que lorsque le nombre d'informations à enregistrer est faible. Pour de grandes quantités d'informations, il faudra utiliser le disque.

Le disque magnétique

Le principe consiste à déposer sur un plateau, généralement en aluminium, des pistes concentriques d'oxyde magnétisable. Chaque piste est divisée en secteurs. L'information sera enregistrée dans chaque secteur de chaque piste. Les numéros de la piste et du secteur correspondent à l'«adresse» de l'information. Le système de lecture permet d'accéder directement à l'information (accès aléatoire à l'information), contrairement à la bande magnétique pour laquelle l'accès à l'information était séquentiel.

Cette caractéristique du disque lui confère un avantage très important : le temps d'accès à l'information est beaucoup plus court. Il faut en effet quelques dizaines de millisecondes pour retrouver une information donnée, quelle que soit sa position sur le disque. Par contre, le temps d'accès, dans un support à accès séquentiel, est très variable selon la position de l'information, car il faut plusieurs secondes pour passer d'une extrémité de la bande à l'autre. Les disques magnétiques exigent de grands soins dans leur maniement. Ils craignent la poussière. Ils peuvent être fixes mais sont le plus souvent amovibles, et, dans ce cas, sont présentés dans un étui. Nous avons alors la «cartouche» qui comporte un disque dont les deux faces sont utilisées. Il existe aussi des «piles de disques»,


INFO
INFO

communément appelées «diskpack». Il s'agit d'un boîtier contenant jusqu'à 12 disques superposés. Pour changer de pile de disques, on change de boîtier de façon à préserver au maximum les disques. Dans le but d'améliorer les performances des disques, des techniques de très haute précision sont utilisées. Ainsi, les têtes de lecture ou d'écriture d'un disque sont placées à quelques millièmes de millimètre du disque qui tourne à une vitesse de quelque 2400 ou 3600 tours/minute. De nouveaux «diskpack» proposent maintenant un boîtier contenant, en plus de la pile des disques, les têtes de lecture et d'écriture. Pour utiliser une pile de disques donnée, on monte le boîtier complet.

La disquette

De même que la bande magnétique possède une version «bon marché» sous forme de cassettes, le disque existe en version «disque souple» (floppy disk). Le disque souple est un disque en mylar, dont l'une des faces contient 77 pistes concentriques magnétisables. Ce disque est flexible, aussi est-il maintenu en permanence dans une pochette carrée en vinyl. Cette pochette présente les évidements nécessaires à l'entraînement du disque dans la pochette et à l'accès aux surfaces magnétisables, pour les têtes de lecture ou d'écriture. Ses performances sont très nettement inférieures à celles des disques magnétiques. Mais elles sont suffisantes dans de nombreux cas, notamment pour la saisie d'informations. De plus, la manipulation du disque souple est très simple, et ne nécessite pas de précautions particulières. Enfin, sa capacité, comparable aujourd'hui à celle d'une cassette, tend à augmenter, par utilisation de la deuxième face du disque.

Toutes ces améliorations permettent de prévoir un bel avenir à ce petit disque qui pourrait bien devenir le «tube» de la chanson informatique !

OU LES DONNEES ACCEDENT A L'ORDINATEUR

«Ainsi mise en forme, stockée sur les supports voulus — actifs ou passifs — l'information va peut-être enfin connaître l'ordinateur»

La saisie des informations

Nous venons de voir qu'il existait un grand choix de supports pour stocker l'information en vue de sa transmission à l'ordinateur. A chaque support correspond un type de matériel, aussi le choix de l'équipement de saisie n'en sera-t-il que plus difficile.

Si le nombre de solutions est si important, c'est en raison de la complexité du problème et nous pouvons préciser que souvent du choix du mode de saisie des informations dépend le succès ou l'échec de l'utilisation de l'ordinateur.

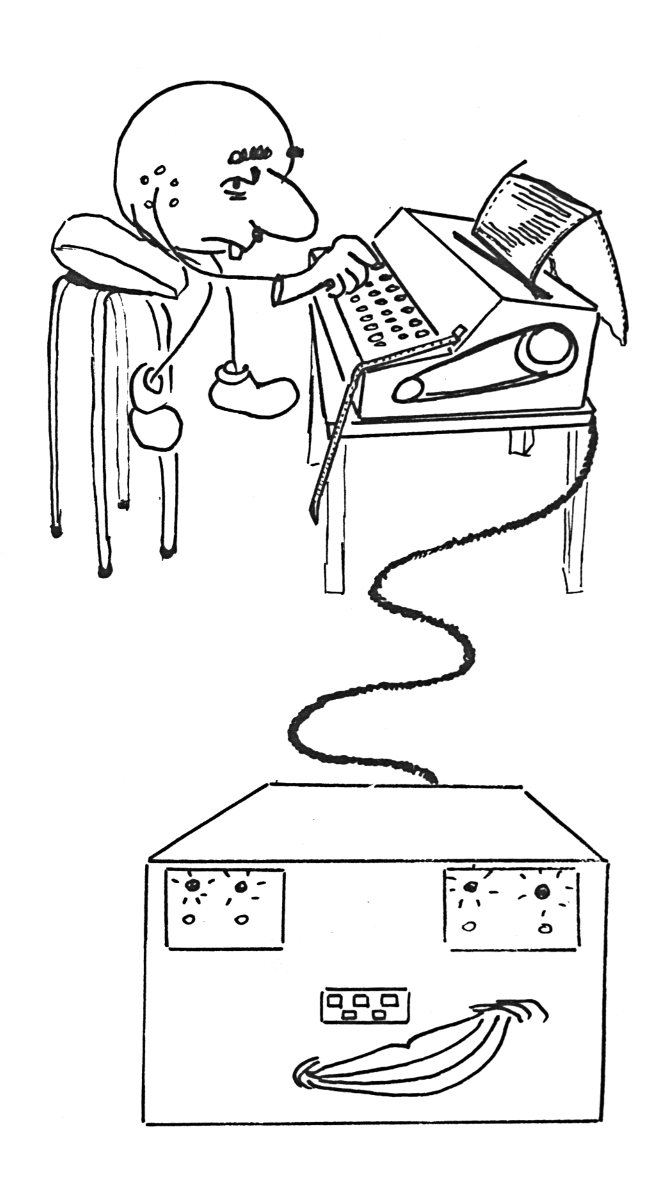
Nous distinguerons deux types de saisie :

La saisie directe ou en ligne

L'équipement de saisie se trouve directement relié à l'ordinateur. Ce type de saisie est pratiqué lorsque la quantité d'informations à saisir est relativement faible, lorsque l'utilisateur souhaite travailler sous forme de dialogue avec l'ordinateur (ce que l'on appelle le mode conversationnel), ou enfin lorsque le taux d'erreurs à la saisie n'entraîne que des risques faibles.

La saisie locale ou déconnectée

Lorsque l'on souhaite utiliser un ordinateur pour améliorer les travaux internes à l'entreprise, la saisie des informations



est un gros problème. Pour changer l'historique d'un fichier client, pour enregistrer les 10 000 comptes clients, pour établir le fichier des 1500 pièces détachées, chacune étant référencée par 8 ou 10 chiffres, toutes ces données représentent plusieurs centaines de milliers de chiffres et très souvent des millions de chiffres à entrer dans l'ordinateur.

Il n'est plus question d'utiliser le téléimprimeur connecté à l'ordinateur. Il faut avoir recours à des équipements qui pourront effectuer la saisie en local, puis aprés vérification, transmettre le tout à l'ordinateur.

Le téléimprimeur

Il s'agit là de l'équipement le plus familier à l'homme, car il est constitué d'une machine à écrire et d'un système électronique de codage des caractères. Il doit son nom au fait qu'il peut être connecté, à distance, à un ordinateur, soit par câbles électriques pour des faibles distances, soit par l'intermédiaire d'un système de télécommunication (voir leçon 14).

Le téléimprimeur se nomme très souvent du nom de son premier constructeur : **Télétype**. Sa forme le fait également appelé «console d'ordinateur».

Lorsque l'on frappe une touche au clavier, le caractère correspondant est affiché sur le rouleau de papier qui alimente le téléimprimeur. En même temps, le caractère codé est transmis à l'ordinateur. Selon le programme qui gère la saisie des informations, l'opérateur pourra établir avec l'ordinateur un véritable dialogue écrit sur papier.

Le téléimprimeur est un équipement bon marché et dont la performance de vitesse est compatible avec celle de l'homme (15 à 30 caractères par seconde).

De ce fait, il a été équipé d'un lecteur perforateur de ruban papier fonctionnant à la même vitesse. Cet appendice est situé sur le côté du téléimprimeur. Le perforateur de ruban est mis en service lorsque l'opérateur désire saisir son programme et ses données sur un ruban. Dans ce cas, le code

correspondant au caractère est adressé au perforateur au lieu de l'ordinateur. Lorsque la saisie est terminée on peut alors mettre le lecteur en service, et dans ce cas, transmettre à l'ordinateur à vitesse constante, sans tenir compte de la vitesse de frappe de l'opérateur. Inversement, lorsque l'on désire stocker des informations sur ruban, on met en service le perforateur et dès que l'ordinateur le souhaite, les caractères transférés de l'ordinateur au téléimprimeur apparaîtront sur le papier en clair, et le code équivalent sera perforé.

Le terminal écran

De conception plus récente, le terminal à écran tend à remplacer le téléimprimeur. On l'appelle parfois «console de visualisation» par analogie avec le nom donné au téléimprimeur.

Il est constitué d'un clavier en tout point semblable à celui du téléimprimeur. L'affichage des informations apparaît sur un écran au lieu du papier. Le tube cathodique est généralement exploré par un balayage télévision. L'absence de partie électromécanique rend son utilisation silencieuse fort agréable et permet des vitesses de travail beaucoup plus élevées, couramment portées à 1200 caractères par seconde.

Il ne comporte pas de lecteur-perforateur de ruban papier associé. Son prix le maintient comme rival du téléimprimeur. Il existe de nombreuses améliorations apportées par les constructeurs sur le terminal à tube cathodique. Nous indiquons ci-après les principales améliorations qui ont pour but de faciliter la saisie de l'information.

— Une mémoire tampon contenant le même nombre de caractères que l'écran. Elle permet de pré-enregistrer des messages afin de les contrôler avant de les transmettre à l'ordinateur.

— Une division de l'écran en zones de travail. Généralement ces zones seront définies par un programme. Elles peuvent présenter les caractéristiques suivantes :

- interdit d'accès à l'ordinateur, ou à l'opérateur,


CONTROLE
CLAK
TCHIK

- réservé aux caractères alphabétiques seuls ou numériques seuls,
- afficher les informations en clignotant, ou inversion de fond.

Toutes ces caractéristiques de zones sont très utiles lorsque l'opérateur effectue de la saisie d'informations répétitives. Il fera apparaître, par l'ordinateur, sur l'écran, le profil d'un bordereau présentant les cases et colonnes à remplir. L'opérateur sera alors contrôlé dans la saisie par les zones caractéristiques définies dans le bordereau. Par exemple, une alarme sonore se déclenchera si par erreur il frappe un caractère alphabétique dans une case réservée à des chiffres, tels qu'une case de date de naissance ou un numéro de compte.

Les perforateurs de cartes

L'équipement le plus utilisé en saisie locale est le perforateur de cartes. Ce type de matériel ancien, volumineux et bruyant, conserve son intérêt par le fait qu'il équipe la grande majorité des centres de calculs existants. Son remplacement impliquerait celui du lecteur de cartes, ce qui poserait de nombreux problèmes.

Les perforateurs de cartes ont reçu des améliorations fort appréciables. L'une concerne l'insonorisation, l'autre, la plus importante, la possibilité de vérifier le contenu de la carte avant perforation. Ceci permet de corriger toute erreur, et évite de reperforer la carte erronée. Le contrôle avant perforation, ainsi que la vérification améliorent considérablement le temps de saisie sur les perforateurs de cartes. En raison des fortes quantités d'informations à saisir, il est fréquent de rencontrer dix et plus perforateurs vérificateurs de cartes rassemblés dans un atelier informatique. Il s'agit dans ce cas d'une saisie centralisée faite à partir des bordereaux d'informations des utilisateurs de l'ordinateur.

Nous avons mentionné comme autre support, voisin de la carte perforée, la carte pré-perforée. Ce support fait appel à un équipement particulièrement simple, cela peut être un stylet, pour confirmer la perforation adéquate de la carte.

En principe, on utilise un support de carte et un cache qui se pose sur la carte à perforer. Sur ce cache pourra figurer, en clair, la signification de chaque perforation, ce qui rend le système utilisable par chacun.

Le faible poids de l'ensemble, support et cartes à perforer, confère à cet équipement une vocation de saisie à la source, sur les lieux mêmes où se trouve l'information, tels que les rayons d'un grand magasin, pour les commandes ou l'inventaire, les enquêtes auprès du public, etc . . . Ce système évite la transcription de l'information du bordereau à la carte perforée et limite de ce fait les erreurs.

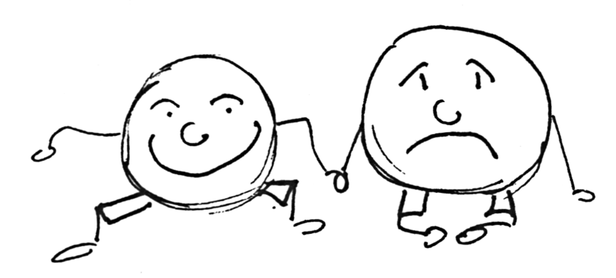
Le perforateur de ruban papier

Le perforateur de ruban papier est l'équipement de saisie de l'information le meilleur marché avec une bonne sécurité d'emploi (on dit une bonne fiabilité). Il est souvent associé à d'autres dispositifs «d'entrée/sortie», les téléimprimeurs notamment.

De récentes améliorations de ce type de matériel ont permis d'en accroître sensiblement la vitesse.

Son homologue, le lecteur de ruban papier, peut maintenant être connecté directement à l'ordinateur quand il est équipé d'un dispositif d'enroulement apte à traiter de grandes longueurs.

Notons que nombre de lecteurs disposent les rubans sous forme d'un pliage accordéon dans des magasins bien adaptés au stockage et aisés à manipuler.



LA SORTIE DES RESULTATS

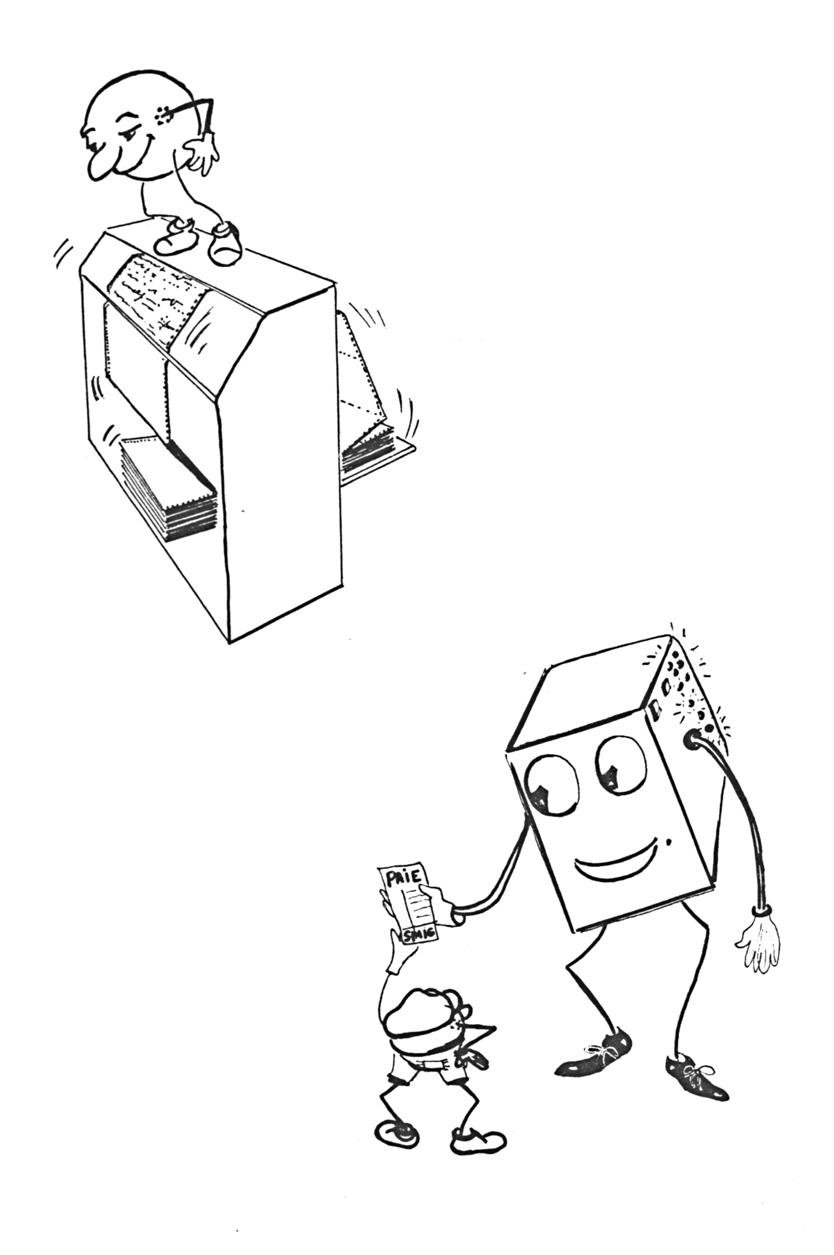
Malgré les nombreux exemples qui pourraient nous le laisser supposer, l'ordinateur n'a pas été inventé pour engendrer des masses d'informations plus ou moins utiles. Au contraire, il doit faire face au flot croissant de cette information, corrollaire semble-t-il inévitable du progrès.

Pour chaque usage . . . un type de résultat

Nous souhaitons faire traiter par l'ordinateur les données que nous avons judicieusement saisies et codées. La façon de saisir l'information est très importante, car elle peut influencer la rentabilité de l'emploi de l'ordinateur. Certes, la bonne utilisation de l'ordinateur dépend aussi beaucoup de la façon dont seront traitées les informations ; mais laissons à l'informaticien le soin de traiter ce problème. L'utilisateur, lui, doit définir la présentation de ses résultats en fonction de ce qu'il veut en faire. Les résultats sont généralement édités pour être directement exploités. Ils peuvent cependant être parfois considérés comme une phase intermédiaire ; dans ce cas ils pourront être soit édités en clair, afin d'en permettre une bonne compréhension, soit édités sous forme codée, directement réutilisable par les équipements de saisie, en vue de traitement ultérieur. Nous étudierons dans cette leçon les différentes formes sous lesquelles peuvent apparaître les résultats.

L'imprimante

L'utilisation de l'ordinateur pour fournir des imprimés est devenue chose courante. C'est ainsi que vous recevez les


PAIE
SMIG

quittances d'eau, de gaz, d'électricité, les relevés de comptes postaux ou bancaires et bien d'autres bordereaux remplis par l'ordinateur.

Rappelons l'origine de ces documents. Les quittances sont établies à partir du document rempli périodiquement par le préposé au relevé de votre compteur. Les informations (votre nom, votre adresse, la date du relevé et la valeur affichée au cadran de votre compteur) sont notées sur les documents remplis par le préposé. D'après ces documents, ces informations sont «recopiées» en étant perforées sur cartes ou enregistrées sur un support magnétique pour être traitées. La phase finale du traitement est la production d'un document vous indiquant clairement ce que vous devez payer, et vous fournissant les éléments qui vous permettent de contrôler l'exactitude de la facture qui vous est donnée et si cette facture vous concerne bien. Si vous regardez de plus près ces factures, vous constaterez que seules les données vous concernant ne sont pas pré-imprimées, mais frappées comme par une machine à écrire. Cette machine à écrire, commandée par l'ordinateur ne comporte pas de clavier : c'est une imprimante.

L'informaticien définira le traitement nécessaire et les ordres envoyés à cette imprimante pour que l'impression des informations «résultats» se fasse correctement. L'organisme émetteur du bordereau a décidé de la présentation des commentaires, des divers libellés qui figurent sur le document pré-imprimé, et des résultats du traitement. Il peut, par exemple, décider que le montant de la facture à payer et la date de paiement soient soulignés. Ces informations se retrouvent à place fixe sur les divers bordereaux de même type remplis. Pour cela l'informaticien demandera à l'ordinateur, à l'aide d'ordres adéquats, de sortir sur l'imprimante les résultats requis à l'emplacement correct.

L'ensemble des ordres concernant le traitement et l'impression correspond à un «programme» qui sera utilisé pour des milliers et peut-être des millions de factures destinées à des personnes dont les compteurs auront été relevés, chez eux, par un préposé, effectuant ainsi la «saisie» des données.

Il suffira alors d'alimenter l'imprimante en bordereaux pré-imprimés et automatiquement le système informatique débitera quelques dizaines de bordereaux à la minute, selon la complexité des résultats et le type d'imprimante choisie. L'imprimante fournira donc un grand nombre de documents directement exploitables par le destinataire.
Nous avons dit plus haut que l'imprimante ne comportait pas de clavier : son seul maître est donc l'ordinateur. En est-elle digne ? Jugez-en vous-même.

Une imprimante est caractérisée par sa vitesse de frappe qui varie, selon les modèles, de 200 lignes à 1000 lignes de 132 caractères par minute. Elle est alimentée de rames de papier pouvant atteindre des centaines de mètres, et constituées de liasses de feuilles prédécoupées. Certaines acceptent des formats de papier différents, de 21 à 38 cm de largeur utile.

Les caractéristiques que nous venons de donner peuvent nous faire penser que les techniques électro-mécaniques utilisées dans la réalisation des imprimantes sont très suffisantes. Pourtant, lorsque plusieurs milliers de bordereaux du même type doivent être édités, il serait agréable de les voir fonctionner beaucoup plus vite. Effectivement, des imprimantes utilisant de nouvelles technologies voient le jour. Notons l'utilisation du rayon laser.

Une autre utilisation de l'imprimante est l'édition en clair sur papier, d'un programme et des résultats d'un programme écrit par un informaticien ou un utilisateur de l'informatique (mathématicien par exemple). Il s'agit alors de la liste ou «listing» d'un programme, les erreurs et résultats éventuels obtenus au cours de son exécution. Cette liste est très utile non seulement, bien sûr, pour la communication des résultats, mais aussi pour la mise au point du programme par l'utilisateur.

Le terminal à écran

Nous avons vu dans la 2ème leçon que l'information frappée au clavier apparaissait sur l'écran ; la réponse de l'ordina-


blablabla
blablabla
blablablabla

teur sera affichée sur ce même écran, en regard. Ainsi, après avoir frappé au clavier une équation mathématique simple suivie du signe «=», nous verrons le résultat de cette équation s'afficher sur l'écran. De même, quand une hôtesse frappe au clavier une demande de réservation de places, l'ordinateur commande l'affichage de toutes les disponibilités, et il ne reste plus qu'à choisir et indiquer ce choix pour déterminer la réservation.

L'écran cathodique ne comporte pas de système mécanique. Il est donc moins bruyant, et plus rapide que le télétype. Il peut atteindre une vitesse de 1 000 caractères par seconde. Très fréquemment, et selon les constructeurs, ces matériels comportent des améliorations techniques qui les rendent encore plus agréables à utiliser.

Les terminaux «semi-graphiques» permettent à l'utilisateur de simuler des bordereaux semblables à ceux que nous avons vus précédemment, en traçant des traits horizontaux et verticaux. Les résultats pourront alors apparaître tels que sur un bordereau réel, rangés dans les cases prévues à cet effet. Une telle caractéristique est souvent utilisée pour la consultation de stocks de magasins de pièces détachées, par exemple.

Dans de nombreux cas l'affichage des résultats sur l'écran cathodique fait appel à un balayage de type télévision. L'image est constituée de signaux similaires à ceux qui produisent l'image sur un téléviseur grand public. Ce qui permet grâce aux techniques de la télévision de transporter sur plusieurs écrans de télévision les résultats présentés sur le terminal relié à l'ordinateur. Il est ainsi possible de diffuser à un grand nombre de personnes les résultats d'un traitement.

Une autre méthode permettant de porter certains résultats obtenus sur écran à la connaissance de quelques autres personnes, consiste à réaliser sur papier une reproduction des informations présentées sur l'écran, à l'aide d'un appareil appelé «reprographe électronique».

Les supports intermédiaires

Les résultats ne sont pas toujours destinés, dès leur sortie,

à l'homme. Ils peuvent être utilisés directement par une autre machine (cas des machines-outils), ou bien encore stockés simplement pour une utilisation ultérieure. Le stockage de ces résultats pourra se faire sous forme codée, sur l'un des supports que nous avons rencontrés à la leçon 2. Nous retrouverons donc, pour sortir les résultats, les mêmes équipements que ceux utilisés lors de la saisie. Les ordres donnés par l'opérateur seront remplacés par ceux transmis par l'ordinateur. Il y aura «écriture» d'information au lieu de «lecture».

La sortie sur ruban perforé sera utilisée non seulement pour obtenir un stockage à faible prix, mais surtout pour être compatible avec les machines utilisant ce support (machines-outils, machines automatiques dites «programmables»).

La carte perforée sera préférée au ruban perforé lorsque le volume des résultats deviendra plus conséquent. Pour des raisons d'encombrement, nous avons précisé que très souvent la bande magnétique était préférable à la carte perforée. Ainsi, le stockage sur bande d'un certain nombre d'informations (programmes, données, résultats) formera ce que l'on appelle : la **bandothèque** du centre de calcul.

L'écriture sur bande magnétique est très rapide. C'est pourquoi la bande sert très souvent d'intermédiaire pour la sortie des résultats de programmes. Ces résultats sont écrits sur une bande ; ce qui pénalise peu la vitesse de travail de l'ordinateur. Ensuite, cette bande sera utilisée pour commander un équipement beaucoup plus lent assurant la bonne présentation de ces résultats.

L'emploi de la cassette ou de la cartouche magnétique est plus limité en sortie. Ces deux supports seront utilisés lorsque le nombre d'utilisateurs des équipements informatiques est important et que les résultats sont conservés au niveau individuel au lieu d'être centralisés au centre de calcul. Les disques en cartouche ou en pile seront utilisés pour contenir les fichiers, à cause de leur grande capacité et de leur rapidité d'accès à l'information.

La mise à jour d'un important fichier, stocké sur un disque, se fera, au yeux de l'utilisateur, quasi instantanément. Enfin,

l'utilisation du disque souple, d'un emploi voisin de celui de la cassette ou de la cartouche magnétique, sera de plus en plus fréquente avec l'évolution de l'informatique répartie au niveau des utilisateurs.



QUAND L'ORDINATEUR DESSINE

A l'inverse de l'homme, l'ordinateur sait calculer avant de savoir dessiner. Pourtant image et ordinateur ne sont pas incompatibles.

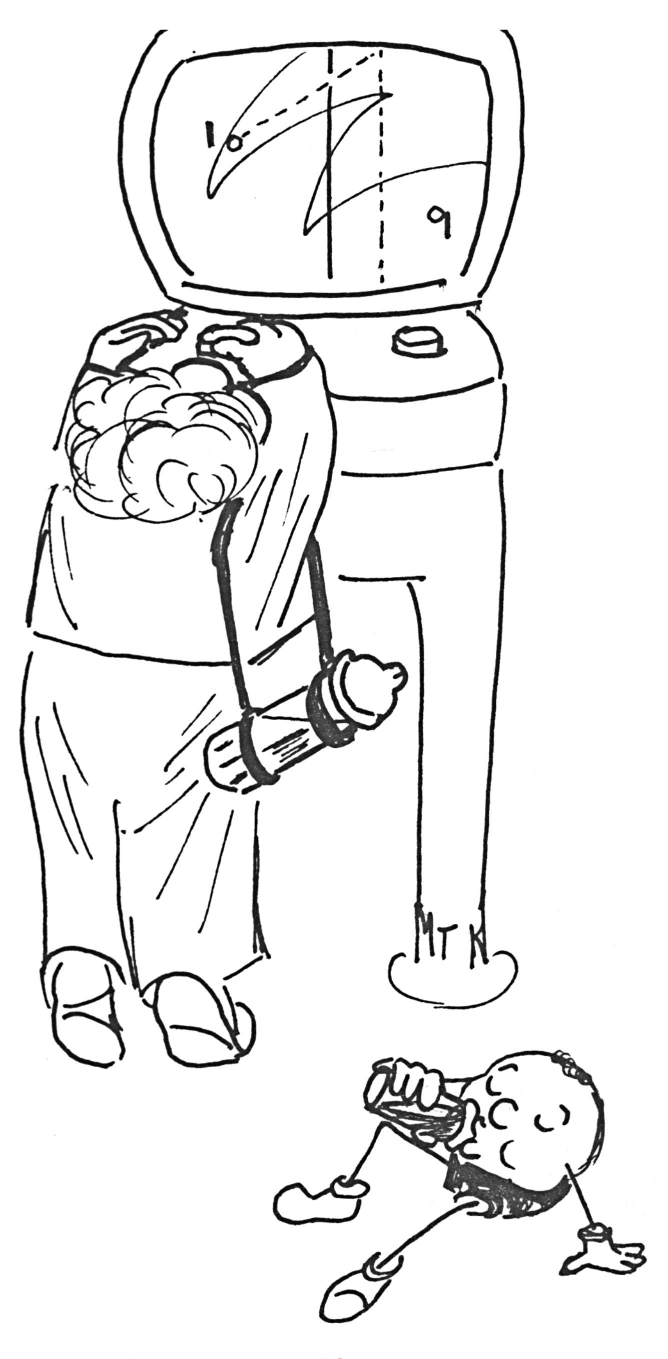
Edition graphique des résultats

Dans certains cas, l'édition alphanumérique des résultats est insuffisante, voire inexploitable. Nous demanderons alors à l'ordinateur de présenter ces résultats sous forme graphique. Les équipements mis en œuvre seront différents, selon que les résultats doivent sortir en différé ou bien immédiatement - on dit aussi «en ligne» - Nous distinguerons ainsi les tables à dessiner «tables traçantes» et les terminaux graphiques interactifs.

Les tables à dessiner automatiques

Elles se classent en trois catégories, définies d'après les dimensions du papier utilisé et d'après le mode de fonctionnement.

— Les plus petites disposent au maximum d'un format de 27 cm x 49 cm. Elles sont généralement couplées à de petits ordinateurs ou équipements terminaux d'ordinateur. Elles comportent une plaque de la dimension du papier. Celui-ci reste fixé à la plaque par effet électrostatique. Un stylo est fixé à un chariot guidé par deux tringles perpendiculaires. Les déplacements verticaux et horizontaux du chariot sont assurés par deux moteurs «pas à pas». Le fonctionnement est donc précis.


MTK

Un électro-aimant fixé au chariot maintient le stylo en contact avec le papier pendant la durée du tracé. Au repos, le stylo est relevé à quelques millimètres de la surface du papier.

Pour tracer des graphismes sur le papier, il suffira de fournir à la table à dessiner automatique les instructions de déplacements du stylo, en précisant si ces mouvements sont accompagnés d'un tracé ou s'ils ne sont qu'un déplacement.

De tels équipements peuvent être utilisés pour représenter par exemple des pièces mécaniques simples de petite dimension, dans le but de constituer un dossier de fabrication. Ils seront aussi utilisés pour constituer le dossier technique d'un chantier de construction, en fournissant les détails de construction des piliers, des poutres, des noeuds . . .

— Pour des applications plus complexes telles que le dessin d'une pièce de grande dimension, un plan d'architecte etc . . ., des tables traçantes plus importantes sont utilisées. Elles sont généralement alimentées par un rouleau de papier. Le chariot se déplace sur une tringle fixe transversale, le déplacement orthogonal étant assuré par le déroulement du papier. Le chariot peut recevoir jusqu'à 4 stylos de couleurs différentes. Il faut dans ce cas, bien entendu, en plus des ordres de déplacement, préciser la couleur du stylo utilisé.

— Enfin, les tables plus importantes peuvent recevoir des tracés cartographiques, des tracés d'une partie de la structure d'une cellule d'avion, etc . . . En raison de la grande précision nécessaire dans ce cas, le papier est souvent fixé sur la table et les stylos se trouvent sur un chariot piloté horizontalement et verticalement, comme pour les tables traçantes de la première catégorie.

Ces deux derniers types de tables sont souvent utilisés en mode «local», donc travaillent sans être reliés à l'ordinateur.



Dans ce cas, les résultats intermédiaires correspondant au tracé désiré (et contenant les ordres nécessaires aux déplacements des stylos) sont enregistrés sur une bande magnétique Celle-ci sera lue par un lecteur de bande couplé à la table et le tracé se fera sans occuper l'ordinateur. Ce dernier sera donc libre pour effectuer d'autres travaux.

Les terminaux graphiques interactifs

Tout comme l'imprimante donnait des résultats sans que l'opérateur puisse intervenir, la table traçante affiche le tracé «demandé» en provenance de l'ordinateur, sans qu'aucune modification soit possible. Or, il est intéressant de pouvoir obtenir des tracés «fugitifs» , ne serait-ce que pour s'assurer, avant d'en demander un tracé définitif, que les résultats obtenus sont bien ceux escomptés. Les terminaux graphiques interactifs serviront à prévisualiser les résultats de tracés graphiques et à effectuer d'éventuelles mises au point des programmes. Ces terminaux comportent un clavier, qui assure le dialogue entre l'homme et la machine, et un écran cathodique qui permet la visualisation des réponses de l'ordinateur, qu'elles soient alphanumériques ou graphiques. Nous avons vu que l'ordinateur peut commander la sortie de graphismes allant d'une courbe statistique simple jusqu'à une analyse d'image fournie par un microscope électronique.

Il existe toute une gamme de matériel répondant aux divers besoins de représentation. Nous nous bornerons à citer trois types d'équipements :

— *Les terminaux à balayage télévision.* L'image totale affichée sur l'écran est régénérée 30 fois par seconde. Ceci permet de modifier instantanément une image ou un dessin (animation de dessin possible). Ce type de matériel offre la possibilité d'afficher des images très complexes avec différents niveaux de brillance, entre le noir et le blanc. Les modèles les plus sophistiqués permettent l'utilisation de la couleur, ce qui est très apprécié pour représenter sur écran des diagrammes de suivi de contrôle de procédé.

— *Les terminaux à balayage cavalier et image régénérée.* Seules les informations présentes sur l'écran sont régénérées.

Si l'animation de dessin et l'utilisation de la couleur sont possibles sur ces matériels, l'affichage de graphiques à forte densité (plus de 10 000 points) est exclu.

— *Des terminaux à tube mémoire.* Ils possèdent la faculté de conserver sur leur écran toutes les informations transmises par l'ordinateur ou l'opérateur. Ils permettent une représentation graphique à forte densité de points. Ils peuvent afficher une animation de dessin, mais ne comportent pas de version couleur.

Ces trois types de matériel permettent donc d'afficher des résultats graphiques et de dialoguer avec l'ordinateur. Nous avons précisé qu'ils possédaient un clavier ainsi qu'un accessoire, de techniques différentes selon les types de matériel, destiné à désigner un point graphique sur l'écran pour modifier une donnée du programme, et donc obtenir des résultats différents.

Les terminaux graphiques interactifs sont souvent employés pour effectuer des mises au point de programmes à résultats graphiques, car la sortie des résultats est quasi instantanée, alors que les tables traçantes travaillent en général en différé.

Les terminaux graphiques interactifs évitent par ailleurs de sortir des résultats sur papier tant que l'utilisateur n'a pas obtenu les résultats espérés.

Equipements spéciaux

Très souvent, le papier associé à la table traçante est remplacé par une feuille de mylar, dont la conservation dans le temps est meilleure. Il suffira d'effectuer quelques modifications techniques à une table traçante et nous disposerons, en sortie d'ordinateur, d'une table à graver le métal. De tels équipements sont très particuliers et ne s'adressent qu'à des secteurs d'activité bien précis.

Au cours de la 1ère leçon, nous avons précisé que l'ordinateur avait la possibilité d'effectuer une opération un million de fois plus vite que l'homme. On peut imaginer que si l'ordinateur était utilisé au maximum de ses performances,

il pourrait effectuer un nombre très conséquent d'opérations, tout au moins de façon telle que l'homme ne pourrait en dépouiller instantanément les résultats.

A ce stade, l'imprimante perd son efficacité. L'informatique a recours, dans ce cas, à **l'imprimante sur microforme**. Tout comme pour le documentaliste, les informations en sortie de l'ordinateur seront présentées sous forme de **microfiches**, ou **microfilms***. Cette présentation des résultats est souvent intermédiaire et possède l'avantage appréciable d'être très peu encombrante. Une microforme peut comporter 210 lignes de 250 caractères chacune. De plus, la sortie de l'information sur microforme est effectuée de 10 à 20 fois plus rapidement qu'avec une imprimante classique. Un tel débit est chose intéressante pour nombre d'utilisateurs de l'informatique. Ces équipements sont recommandés lorsque le nombre de pages de listage atteint des centaines de milliers par mois.

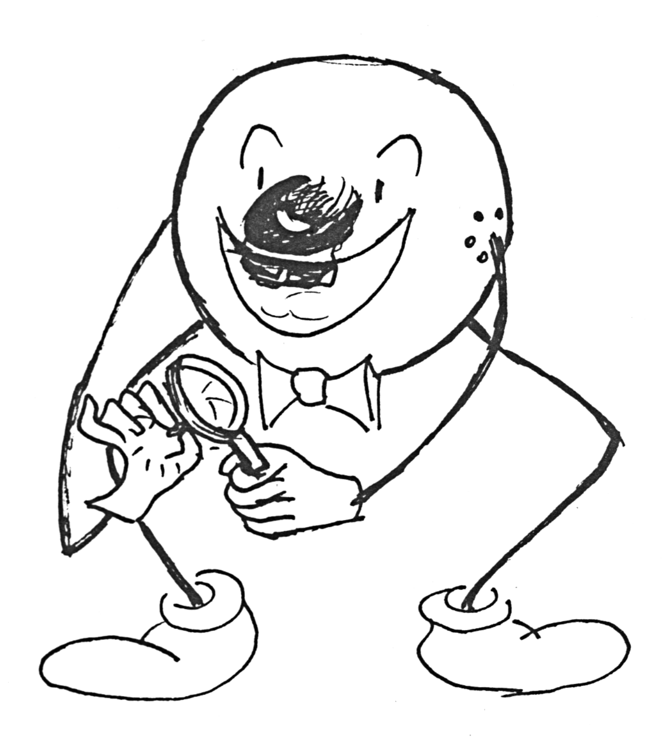
L'utilisation de l'imprimante sur microforme sera très appréciée pour archiver toute information alphanumérique ainsi que graphique. Les techniques électroniques et photographiques utilisées autorisent toute forme de tracé. Les imprimantes sur microforme permettent de sortir instantanément des plans avec commentaires, des fichiers de précis mécaniques, des dossiers comportant des textes, planches, dessins, etc . . . Les équipements associés assureront la consultation rapide par un accès automatique à la page à visualiser sur un écran, ainsi que la copie sur papier de la page à exploiter.

Enfin signalons un avantage important de ces techniques : la duplication des microformes permet de transmettre sans contrainte tous les documents dans les divers centres d'une société équipée de lecteurs de microfiches ou microfilms. Il est aisé d'imaginer l'ampleur des investissements nécessaires pour l'obtention d'informations microformées. Laissons aux spécialistes le soin d'en reconnaître la rentabilité selon les cas. Disons toutefois que cette technique prend un essor aussi important en informatique que dans le domaine de la

*COM : Computer Output on Microfilm.

documentation et de l'archivage, ces derniers faisant souvent appel à la première. Les techniques employées pour la microforme nous amènent tout naturellement à considérer l'étape suivante : **l'édition.**

Dans ce cas, l'impression sur microforme sera remplacée par la **photocomposition,** équipement familier aux éditeurs-imprimeurs. L'ordinateur aura pour charge, à partir des textes, graphiques, photos, etc ... du journaliste ou écrivain, d'effectuer la mise en page automatique. Le document obtenu par la photocomposeuse est alors directement exploitable par l'imprimeur.



UN PEU D'ELECTRONIQUE

Toute récente, l'histoire de l'informatique ne laisse pas de surprendre par sa richesse et sa créativité. Pour ce qui relève du matériel, une analyse allant jusqu'au fin fond des choses montre que toute la superstructure informatique repose sur l'infrastructure des composants électroniques.

Un peu d'histoire

Ce sont les composants électroniques qui en se métamorphosant, ont entraîné dans leur sillage le développement de l'informatique, dont les règles ont été élaborées entre temps. Ils ont ainsi provoqué cette fameuse seconde révolution industrielle dont nous ne vivons aujourd'hui que les prémices. Honnêtement, il faut convenir que l'informatique, en retour, a bien profité aux composants, ce qui reste de pure dialectique.

Pour les amateurs d'histoire, quelques dates prévaudront (on verra plus loin ce que représentent les termes ésotériques qui apparaîssent ici) :

1946 - Naissance du premier calculateur électronique
1948 - Invention du transistor
1950 - Commercialisation du 1er ordinateur (à tubes)
1959 - Invention du circuit intégré
1960 - Commercialisation du 1er ordinateur transistorisé - Introduction du 1er ordinateur en France
1965 - Introduction des circuits intégrés dans les ordinateurs - Naissance des «minis»
1970 - Introduction des circuits «LSI» dans les ordinateurs - Naissance des «micros»

1975 - Début de l'invasion de la puissance de calcul dans tous les domaines des activités humaines

Tubes, semi-conducteurs et circuits intégrés

Arrêtons-nous sur quelques aspects technologiques majeurs de cette histoire. Avant 1948, on ne connaissait que les tubes de radio, ces fameuses lampes dont le trait caractéristique était de tomber immanquablement en panne par rupture de filament. Car en effet, il fallait dissiper bien des calories pour les chauffer et de ce fait, leur rendement était approximativement aussi bon que celui des . . . locomotives à vapeur. Ce qui n'est guère brillant.

Puis, en 1948 naît le transistor. C'est un substitut des lampes dans leurs fonctions, mais qui ne possède ni enveloppe fragile de verre, ni vide interne, ni filament de chauffage . . . En ouvrant une ère nouvelle, celle des semi-conducteurs, il va réléguer les lampes au musée.

Contrairement à une opinion triviale, un semi-conducteur n'est pas une injure nouvelle créée à l'usage des chauffards ayant trouvé leur permis dans une pochette surprise. Un semi-conducteur, c'est un corps qui se laisse parcourir par l'électricité, mais avec une certaine réticence lorsqu'il est pur. De par sa structure physique, ce n'est donc ni un bon isolant (qui empèche le courant de passer), ni un bon conducteur (dont la plus grande joie est d'accepter le courant le plus intense). Aussi est-ce tout-à-fait à son intention qu'on a créé cette classe intermédiaire des «semi-conducteurs», qu'illustrent le germanium et le silicium.

Mais ce qui est important, c'est qu'en introduisant dans un cristal de semi-conducteur quelques atomes d'un corps étranger, en le «dopant», on peut le faire basculer franchement vers les conducteurs et, de plus, et selon les caractéristiques du «dopant», le polariser positivement ou négativement.

Dès lors, le courant se voit offrir la traversée d'un corps solide et non plus celle du vide des lampes ; il n'est plus besoin de chauffage, la sécurité de fonctionnement (on dit : *la fiabilité*) fait un grand bond en avant, accompagnée par le


Metal
Oxyde
Silicium

rendement ; bref, il en résulte une pluie d'avantages auxquels il ne faudrait pas omettre d'ajouter un volume réduit de plusieurs centaines de fois et («the last but not the least», ce qui signifie approximativement : on a gardé le meilleur pour la fin), un prix également réduit. On va voir pourquoi.

De nos jours, le matériau qui domine largement le monde des semi-conducteurs est l'un des plus répandus sur notre globe : le silicium. Un grain de sable (du silicium oxydé !) offre un volume plus que suffisant pour accueillir un transistor.

Ces transistors se sont manifestés par deux grandes «familles» : *bipolaires et unipolaires.* Les bipolaires comprennent deux jonctions et trois zones : N-P-N, ou P-N-P. Les unipolaires, eux, existent également en plusieurs variantes dont la plus célèbre est celle des MOS. Ce sigle définit, en fait, leur structure verticale. En effet, si l'on représente un MOS vu en coupe à partir d'une tranche de silicium, on trouvera successivement de haut en bas : un métal (M) qui est de l'aluminium, un isolant qui est de l'oxyde (O), et enfin un semi-conducteur (S), qui est du silicium.

Or, au début, les transistors étaient fabriqués «artisanalement», un par un ; on a cependant très vite appris à en automatiser la production. Pour cela, il a fallu élaborer une méthode de production «plane», portant sur un disque (ou «wafer») de silicium de 2 à 12 cm de diamètre et de 0,3 mm d'épaisseur ; la surface de cette «tranche» se voyait recouverte de plusieurs dizaines de transistors individuels selon des procédés relevant de la photolitographie, de la diffusion gazeuse d'atomes «dopeurs», etc ; après quoi on la découpait pour séparer les transistors individuels. Les techniciens qui recevaient ces derniers n'avaient dès lors rien de plus urgent que de les réunir à nouveau par câblage !

Défaire et refaire n'étant pas considéré comme un travail constructif par les électroniciens, il fut décidé d'interconnecter des groupes de transistors individuels sur la tranche-mère de silicium afin de les utiliser en bloc. Ainsi sont nés ces fameux circuits intégrés qui n'ont, il faut en convenir, rien à voir avec l'intégration ou la désintégration de la matière.


une croissance abrupte -----
-----et une chute vertigineuse

Une croissance abrupte et une chute vertigineuse

Donc, un circuit intégré est une petite parcelle de silicium (on dit : une puce, par référence à sa couleur . . .) de 5 à 50 mm^2, dans laquelle on a fabriqué au cours d'un unique processus des composants électroniques, transistors surtout (mais aussi diodes, résistances . . .), interconnectés selon le schéma électrique à réaliser. Chaque puce est ensuite livrée telle que à l'utilisateur, ou «encapsulée» dans un boîtier en plastique ou en céramique, ayant assez l'apparence d'un sucre d'où émergent les «broches» de connexion.

Très rapidement, deux phénomènes essentiels se sont produits. Le premier concerne la densité d'intégration. Le succès des premiers fabricants de circuits intégrés, réussissant à livrer un circuit composé de 4 transistors fut vite suivi par la fierté de ceux qui réussirent à en loger 20 peu après ; leur triomphe fut de courte durée, car aussitôt naissaient des circuits intégrés avec plus de cent composants interconnectés, puis plus de mille. En 1977, on a abordé l'étape des «plusieurs dizaines de milliers», et vers 1980, commencera probablement celle du million. Tout cela, bien entendu, toujours sur une puce de silicium de 5 à 50 mm^2. La «puissance» de travail d'un tel circuit est par conséquent énorme.

Le second phénomène concerne le prix : le prix de revient du circuit intégré dépend, en premier lieu, de la surface de silicium employée et manifeste une indifférence qui frise la grossièreté à l'égard du nombre de composants réalisés. Cela signifie qu'en accroissant le nombre de transistors intégrés sur une même surface, on réduit leur prix unitaire, qui peut alors servir de référence. On calcule ainsi que le prix du transistor a été divisé par 20 000 en l'espace de 16 ans !

Existe-t-il une autre industrie qui ait été affectée par une telle baisse de prix ? Si l'industrie automobile l'avait subie, telle voiture luxueuse qui coûtait 20.000 francs (nouveaux) en 1962 aurait dû être vendue 1 franc en 1978 . . .

La figure 1 résume l'histoire des circuits intégrés. On y trouvera des sigles, d'origine américaine mais internationalement adoptés, dont la signification est résumée dans le tableau suivant :

Sigles	Origine	Signification	Nombre de composants élémentaires
SSI	Single size integration	Intégration simple	10 à 100
MSI	Medium size integration	Intégration à moyenne échelle	100 à 1.000
LSI	Large scale integration	Intégration à grande échelle	1.000 à 10.000
VLSI	Very large scale integration	Intégration à très grande échelle	> 10.000

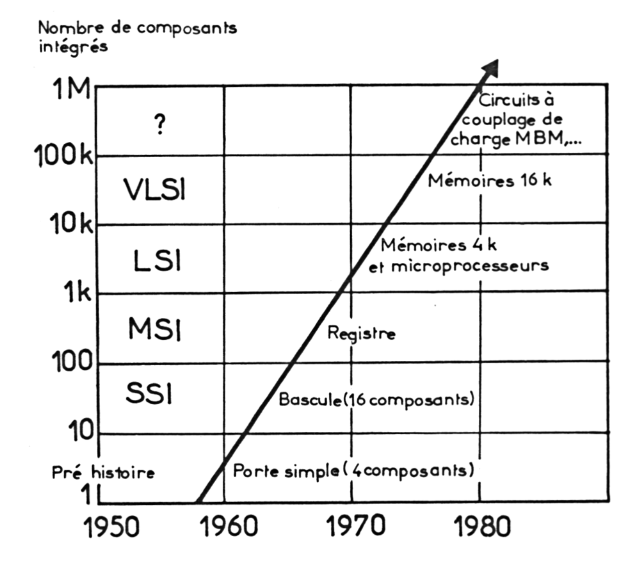


Fig. 1.

Ainsi, évoquer un circuit MOS/LSI signifie qu'on traite d'un circuit intégré à transistors MOS, dont la densité d'intégration est celle du LSI, c'est-à-dire qu'il comporte de 1 000 à 10 000 composants.

Pour les électroniciens, c'est la nature des composants de base qui a servi à définir les générations d'ordinateurs. Ainsi, on peut situer les quatre générations suivantes, la dernière faisant actuellement ses premières armes (mais les bonnes fées semblent l'avoir comblée . . .) :

Génération	Année 19 ..	Composants utilisés dans l'unité centrale
1	50	Tubes
2	60	Transistors discrets
3	65	Circuits intégrés SSI, MSI
4	73	Circuits intégrés LSI

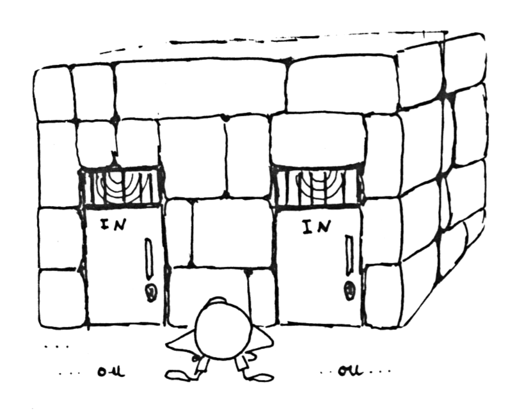
Mr Jourdain et la logique

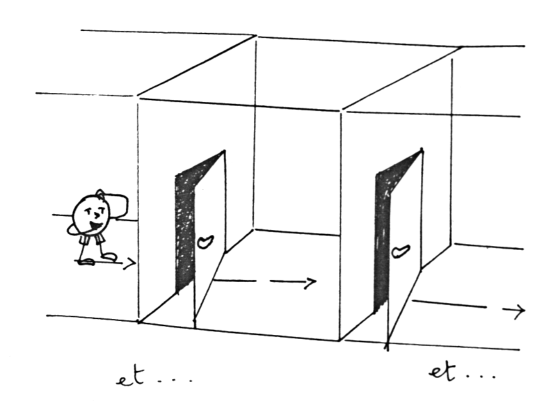
Dès lors, puisqu'on dispose de l'outil électronique nécessaire, on va pouvoir le mettre au service des fonctions informatiques.

On a vu, antérieurement, que la numération de base était le binaire (où 1 + 1 ne font pas 2, mais . . . 10). Grâce au codage en binaire, on va exécuter des fonctions arithmétiques (addition, soustraction, multiplication, etc.) mais aussi des fonctions logiques. Quest-ce donc que cette «logique» ?

Tel celui qui faisait de la prose sans le savoir, vous résolvez quotidiennement des opérations logiques. Ainsi, en actionnant l'un des deux interrupteurs de votre va-et-vient, vous allumez une lampe : puisqu'il suffit d'appuyer sur l'un OU sur l'autre de ces interrupteurs ; on dit qu'il s'agit de l'opération «OU».

De la même façon si, pour allumer une lampe, il faut mettre en marche l'interrupteur général du compteur ET actionner l'interrupteur particulier à cette lampe, on dira qu'il s'agit d'une opération «ET».


IN
IN
. . .
. . . ou
. . ou . . .


et . . .
et . . .

Enfin, l'action inverse, visant à éteindre et non plus allumer cette lampe, est appelée «inversion». On peut d'ailleurs, si l'opération qui sert de référence est l'extinction, dire que l'inversion servira à allumer la lampe.

Et c'est rigoureusement tout, fondamentalement ! En effet, avec ces trois fonctions de base, on élabore toutes les autres, en gravissant l'échelle des complexités.

Comment réalise-t-on une fonction logique avec des transistors ? Très simplement : deux transistors en série simuleront deux interrupteurs en série ; il faudra débloquer simultanément et l'un, et l'autre pour que le courant passe. Le OU résultera de deux transistors en parallèle : que l'un OU l'autre conduise, le résultat sera le même. L'inversion sera obtenue encore plus simplement : avec un seul transistor puisque la particularité du composant est que le signal de sortie est l'inverse du signal d'entrée !

En pratique interviennent généralement des montages un peu plus complexes qui semblent (mais qui semblent seulement) appliquer cette règle d'or américaine : «Pourquoi faire simple quand, pour à peine plus d'argent, on peut faire beaucoup plus compliqué !»

Termes de l'addition binaire		**Somme**	**Retenue**
Cumulande	**Cumulateur**		
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Sur quoi débouchent ces circuits logiques ? Mais sur l'exécution d'opérations arithmétiques, parbleu ! Voyez une simple addition binaire de deux bits ; 4 cas peuvent se présenter : on additionne 0 à 0, ou 0 à 1, ou 1 à 0, ou 1 à 1 . . . La somme sera 0 ou 1, sans retenue, ou 0 avec une retenue, comme le montre le tableau ci-dessus (on notera que des normes récentes

définissent comme *cumulande* et *cumulateur* les deux termes de l'addition, tout comme le *multiplicande* et le *multiplicateur* sont ceux de la multiplication).

Or, phénomène remarquable, la colonne retenue correspond à une fonction ET des deux termes à additionner : il faut que l'un et l'autre soient à 1 pour qu'on trouve 1 en résultat. La seconde colonne, somme, correspond à une variante du OU, dite «OU exclusif», puisqu'il faut que **ou** l'un, **ou** l'autre des deux termes (mais pas les deux !) soit à 1 pour qu'on obtienne 1.

Deux simples opérateurs logiques (on dit : des *portes logiques)* suffiront donc pour exécuter cette mini-addition.

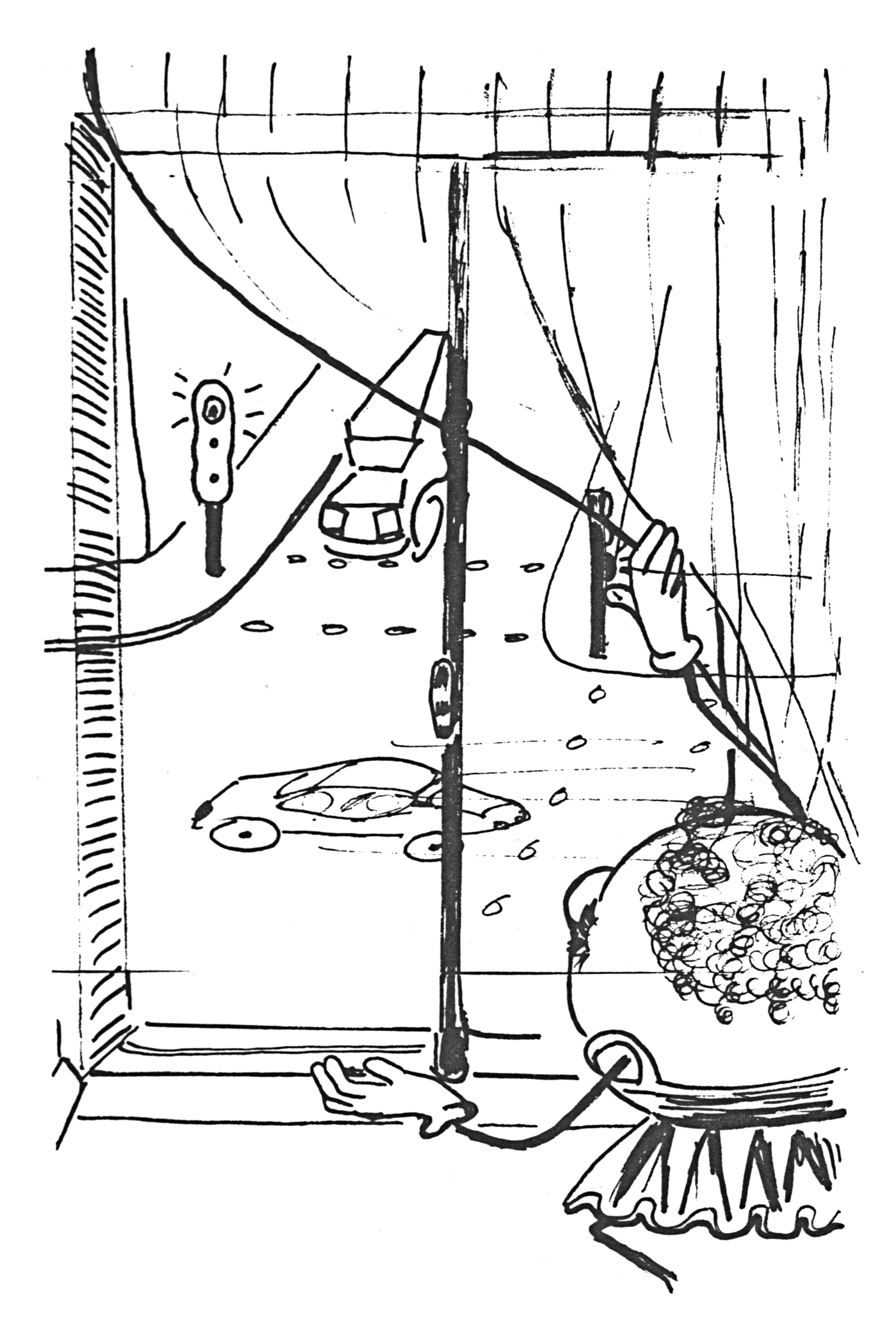
Un tel schéma est désigné par le nom de «demi-additionneur» ; demi, car il n'est pas capable de tenir compte d'une retenue éventuelle précédente. Pour lui conférer cette possibilité, on réalisera un circuit un peu plus complexe qui, lui aussi, sera étudié à l'aide d'une table d'états, celle de l'addition avec retenue.

On pourrait monter de tels circuits en parallèle afin d'additionner en parallèle des «mots» non plus de 1 bit mais de 8, ou 16, ou 32 bits, ou toute autre valeur, et prévoir des circuits spéciaux pour «propager» la retenue . . . ; tout cela ne reviendrait qu'à broder sur un même thème central.

Il en irait rigoureusement de même pour d'autres opérations arithmétiques, à commencer par la soustraction qu'on ne développera pas ici, car ce que souhaitent les auteurs, c'est montrer avec quelle facilité on réalise les fonctions informatiques de base.

Comment la mémoire vint aux machines

Fort bien ! mais à quoi servirait un dispositif capable d'exécuter des opérations complexes en un temps record, si on ne lui fournissait pas les moyens de mémoriser, même temporairement, les résultats ? Le temps d'en prendre connaissance, au moins . . .



Il a donc fallu doter de mémoires les machines électroniques, pour les rendre capables tout d'abord de retenir les données sur lesquelles on allait travailler, d'enregistrer des résultats intermédiaires, puis de stocker des résultats ou des ordres provenant des traitements exécutés.

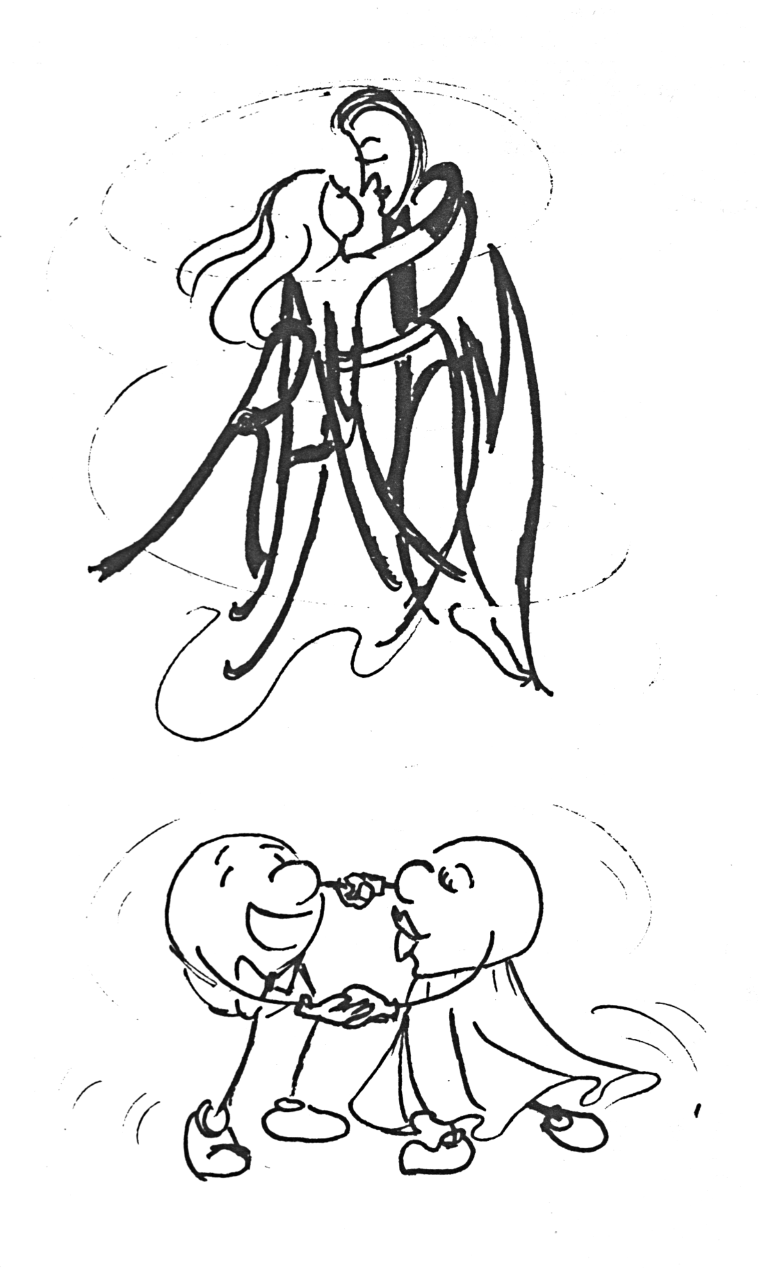
Ce fut là un gros problème, lié au facteur temps. On a vu en effet, dans la leçon consacrée à la saisie de l'information, comment l'on utilisait des mémoires dites «périphériques». Mais dans le corps même de l'ordinateur, que l'on désigne par *unité de traitement*, il fallait introduire des mémoires totalement électroniques, et rapides : ce furent tout d'abord les «bascules électroniques», appelées familièrement des «flip-flops».

Un flip-flop est un circuit à deux branches comprenant fondamentalement deux transistors ; l'un conduit quand l'autre est bloqué. Dans l'une des branches le courant circule, mais non dans l'autre ; on pourra cependant inverser cette situation et rendre conducteur le transistor bloqué, ce qui provoquera obligatoirement le blocage de celui qui était conducteur.

Ainsi, si l'on suppose que le passage du courant représente un 1, l'absence de courant un 0 dans l'une des branches servant de référence, on aura trouvé le moyen de mémoriser une information binaire. Cette façon de stocker l'information est dite «statique».

Une autre façon de mémoriser des informations binaires consiste à charger ou décharger des capacités qui, de toute façon, existent dans les transistors MOS par construction. La capacité «de structure», électrode de commande à substrat du MOS, chargée, sera considérée comme stockant un 1, par exemple, et déchargée un 0. Par opposition aux montages à flip-flop, cette technique est dite «dynamique».

Puisqu'en 1977, on fabrique couramment des circuits intégrés comprenant quelque 20.000 transistors et qu'avec cette dernière méthode, un seul MOS suffit par point mémoire, on en est venu à commercialiser des mémoires regroupant 16.384 points individuels. Ce nombre peut sembler bizarre par sa précision : il se justifie si l'on se reporte à une progression binaire telle que 2^1, 2^2, 2^3 . . . etc, qui se révèle



très pratique lors de la conception des circuits ; on trouve ainsi que 16.384 = 2^{14} . En raison de cette même base 2, le préfixe kilo, défini en décimal comme un multiplicateur par 1 000 devient, en binaire, un multiplicateur par 1.024 ; de ce fait, 16.384 bits se dit encore : 16 K bits ; nuance : on tend ici à utiliser un K majuscule !

Il faut ajouter que les premières mémoires furent réalisées avec des tubes électroniques, deux lampes montées en bascule pour une cellule de un bit. Ultérieurement, et tant que les circuits intégrés n'eurent pas atteint leur plein développement, on a recouru à un principe tout différent, basé sur l'aimantation et la désaimantation de petits anneaux magnétiques : les **tores de ferrite.** Ainsi sont nées les mémoires à tores, résultant d'un véritable tissage d'anneaux souvent si petits qu'on les distingue difficilement à l'oeil nu et dans lesquels on enfile plusieurs conducteurs selon un ordre rigoureux. Enfin, les circuits intégrés sont venus ré-imposer les bascules, puis la mémorisation «dynamique», en attendant que d'autres techniques se manifestent.

La valse des sigles

Les mémoires «internes» aux ordinateurs se sont vu attribuer des fonctions spécialisées, permises par la souplesse de l'électronique à circuits intégrés. Mais avant d'aborder ce point, il convient de préciser la signification accordée à certains termes. Ainsi, imposer une situation donnée à une bascule-mémoire s'appelle : *écrire une information.* La *lecture* revient, par conséquent, à détecter cette situation imposée. Quant à *l'effacement*, il consiste à tout annuler pour pouvoir recommencer.

Prenons l'exemple d'une bande magnétique : on peut enregistrer, lire et effacer, si l'on veut, les informations. Par contre, on ne peut plus que lire une carte perforée, dès lors qu'elle a été «inscrite» ; on ne peut pas l'effacer, en effet, et l'on dit qu'il s'agit d'une mémoire «morte». Par opposition, une mémoire qui supporte toutes les opérations dans quelque ordre que ce soit, lecture, écriture, effacement, est dite mémoire «vive».

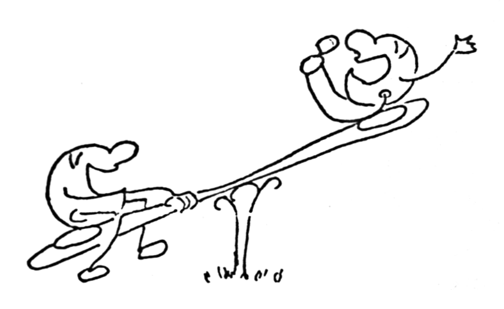
De telles notions ne sont apparues, en réalité, que grâce aux circuits intégrés. En effet, on distingue :

— *Les mémoires vives,* à circuits intégrés. On les appelle des RAM, de «random access memory» parce qu'on peut viser directement une de leurs cellules pour enregistrer, lire ou effacer une information,

— Or, pour certaines applications, toutes ces fonctions ne se révèlent pas utiles. Par exemple, une table servant à convertir des pouces en millimètres peut être enregistrée une fois pour toutes dans une mémoire «morte», qui ne sera plus que lue. La cellule d'une telle mémoire est bien plus simple et se caractérise par la présence ou l'absence d'un transistor. On désigne cette mémoire du sigle :ROM, de «read only memory», soit *mémoire à lecture seule.*

— Puis naissent des variantes des ROM, selon le mode de programmation (d'inscription) que l'on aura retenu : PROM (de ROM programmable) si chaque utilisateur du circuit intégré peut enregistrer son propre programme ; REPROM s'il peut, à la rigueur, annuler exceptionnellement ce programme pour le remplacer par un autre . . . et l'on n'en aura pas, pour autant, épuisé l'arsenal des mémoires intégrées.

Cela dit, le lecteur dispose de *tous* les éléments théoriques de base nécessaires pour construire un ordinateur . . . Il reste cependant à définir une chose importante : ce qu'est un ordinateur, ou plus exactement quel est son rôle, comment il s'insère dans un système informatique, et enfin comment il fonctionne. Tel va être l'objet du chapitre suivant.



A LA RENCONTRE DE LA MACHINE

Homme et moteur : 1ère révolution industrielle !
Homme et ordinateur : 2ème révolution industrielle ?

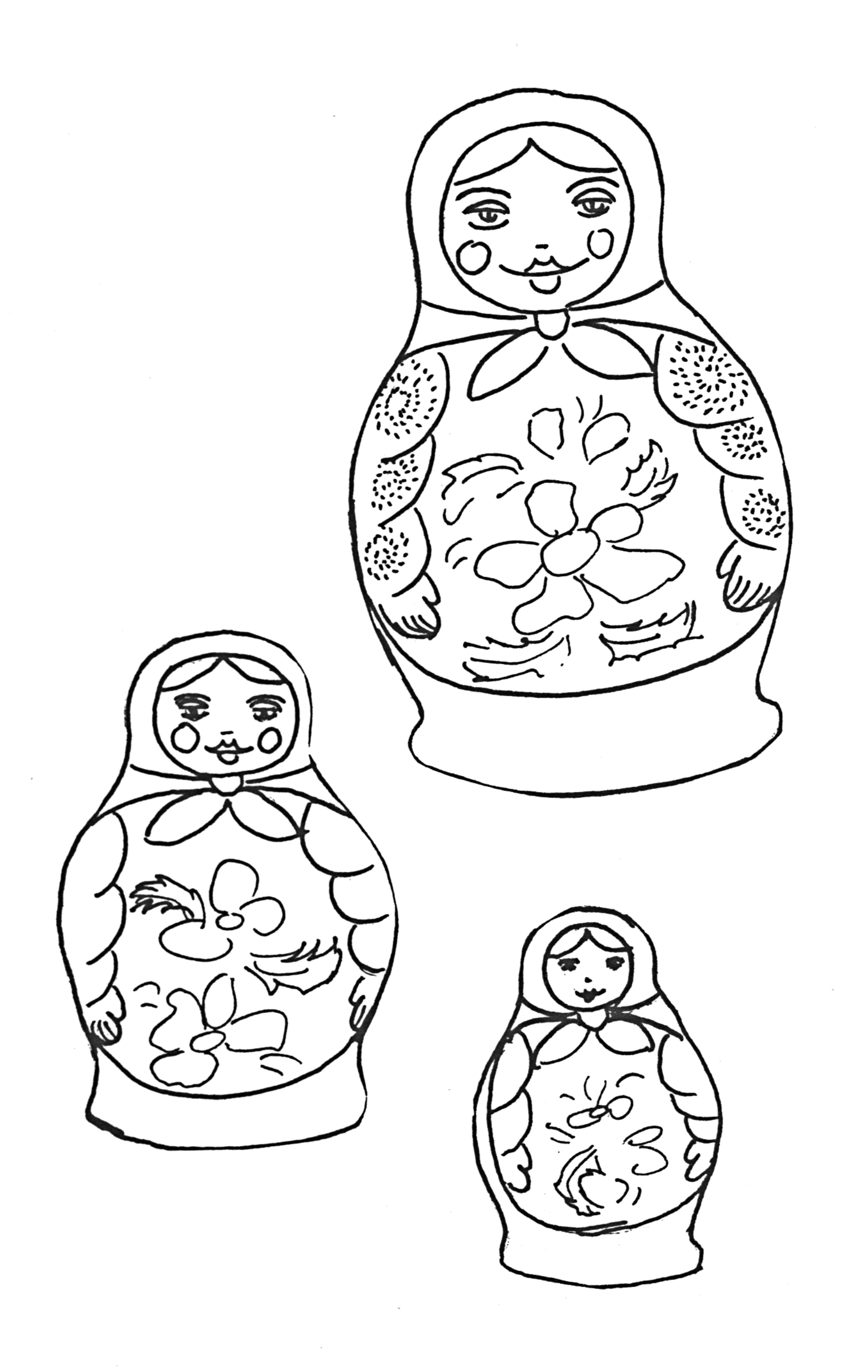
Bien que l'ordinateur soit à l'origine de cette «seconde révolution industrielle», on n'ira pas, ici, jusqu'à assimiler la machine à un être pensant : laissons cela aux amateurs de science-fiction (dont nous sommes) ; nous nous contenterons, quant à nous, d'examiner très exactement à quoi sert l'informatique, comment elle intervient, puis enfin comment elle fonctionne.

POUPEES RUSSES ET BOITES NOIRES

A quoi sert un système informatique, telle est donc la première question que l'on peut se poser. Si l'on représente par une boîte noire un tel système (fig. 1), on peut considérer que :

— A l'entrée, on lui fournit *des informations :* liste de pièces en stock, quantités et prix ; ou alors liste des collaborateurs d'une entreprise et nombre d'heures travaillées avec le salaire horaire ; ou données météorologiques, ou encore, œuvres complètes de Victor Hugo . . .

— D'autre part, et parce qu'on a développé séparément le mode d'emploi de ces informations, on l'applique également au système informatique. Ce mode d'emploi, c'est en quelque sorte un *plan de travail* minutieusement détaillé qui dira, par exemple : multiplier le salaire horaire par le nombre d'heures, puis calculer de telle et telle façon les cotisations



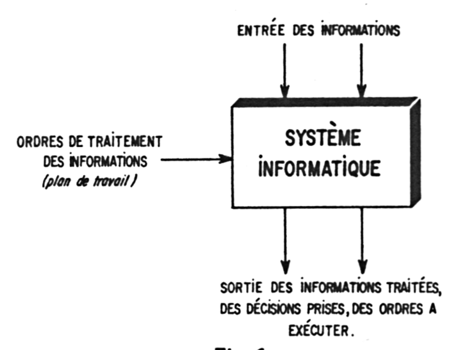


Fig. 1.

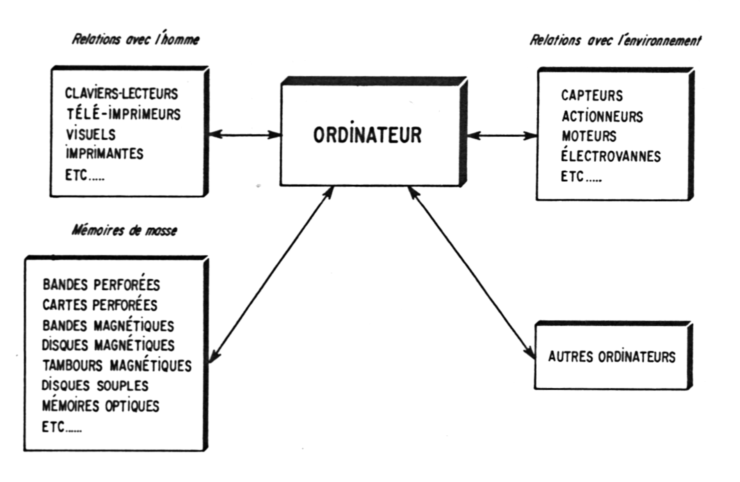
à la Sécurité Sociale, déduire ceci et ajouter cela, etc. Ce plan est appelé «programme».

— A la sortie, on récupère *des résultats* tels que : montant du salaire hebdomadaire, ou mensuel, de tous les collaborateurs, lesquels pourront s'exprimer de multiples façons : par exemple, impression directe des fiches de paie.

Tel est le rôle du système informatique, qui pourra traiter des problèmes de gestion, scientifiques ou industriels, etc., à volonté.

Qu'y a-t-il donc dans cette boîte noire ? Eh bien . . . une autre boîte noire, un peu à la manière de ces poupées russes dont la plus grande en contient une autre de taille inférieure. Cette seconde poupée, c'est l'ordinateur, associé cette fois à ses périphériques, comme le montre la figure 2. Ils servent à communiquer avec l'homme (claviers, écrans d'affichage . . .), et pour cela, peuvent même produire ou utiliser directement des documents (imprimantes, lecteurs) ; ils peuvent être en prise directe avec l'environnement industriel s'il s'agit de capteurs, actionneurs, relais, moteurs ou vannes . . . ; enfin, on trouvera des mémoires de masse. Si l'on devait interconnecter plusieurs ordinateurs entre eux, on réaliserait un réseau, ce qui suppose un quatrième mode de liaison et d'échange que nous examinerons dans la dernière leçon de ce livre.

Qu'y a-t-il enfin dans cet ordinateur lui-même ? Une autre boîte noire, appelée *unité centrale de traitement*, ou désignée



plus communément par ses initiales d'origine américaine : CPU, de «central processing unit». Elle est accompagnée des constituants de la mémoire centrale et des dispositifs d'interface qui branchent le CPU sur le monde extérieur. On ajoutera à cela une horloge éventuelle qui, marquant le temps à la façon d'un métronome, autorisera à chaque coup l'exécution d'une nouvelle opération, et enfin une alimentation destinée à pourvoir l'ensemble en énergie électrique, prélevée sur le secteur (ou sur batteries).

Reconstituons une unité arithmétique et logique

La nouvelle poupée russe qui vient de surgir est donc le CPU ; ouvrons-le à son tour. Nous y trouvons, dans un environnement de registres et de circuits de commande sur lesquels on reviendra, une unité dite «arithmétique et logique» et désignée de ce fait par le sigle ALU (de l'anglais : «arithmetic and logic unit»). Et là, nous retombons en pays de connaissance : cette unité est chargée d'exécuter des opérations logiques, les OU, ET, et INVERSION présentées dans le chapitre précédent, avec d'autres qui en dérivent,

ainsi que des opérations arithmétiques : on en a vu également le principe.

Il faut cependant insister sur le fait qu'elle travaille non pas sur des bits en série, mais sur des mots de *n* bits en parallèle (seuls, les mots sont traités en série). Ces mots doivent donc être transmis par des voies parallèles, par exemple 16 voies parallèles si le mot est de 16 bits ; une telle voie s'appelle un *bus*.

Mais revenons à l'ALU. Elle se compose des «portes» logiques nécessaires (16 par fonction logique retenue si l'on travaille sur 16 bits, par exemple). Elle comprend également un additionneur ; il sera constitué comme on l'a vu dans le chapitre précédent, et comprendra autant de circuits d'addition en parallèle qu'il y a de bits dans un mot.

Que se passe-t-il si l'on doit exécuter une soustraction, et non plus une addition ? Eh bien, grâce à l'astuce du «complément à 2», on transforme la soustraction en . . . addition ; cela fonctionne parfaitement bien ! Ainsi, par exemple, soit à calculer —27 +42 ; traduit en binaire, 27 s'écrit 0001 1011 et 42 s'écrit 0010 1010. Prenons 27 en binaire et inversons (à l'aide d'inverseurs logiques) tous les bits : on obtient 1110 0100 ; puis ajoutons 1 ; on trouve 1110 0101. C'est ce dernier nombre qu'on appelle le complément à 2 de 0001 1011, la même façon de procéder s'appliquant à tous les nombres binaires pour obtenir leur complément à 2. Il ne reste plus qu'à additionner :

le complément à 2 (de 27)		1110 0101
à +42		0010 1010
et l'on trouve	(1)	0000 1111

ce qui, si la dernière retenue à gauche est négligée, donne bien la réponse exacte : 0000 1111, soit 15 en décimal. C.q.f.d.

Par conséquent, pour exécuter une soustraction, il suffira d'un additionneur et de portes logiques d'inversion ; ces dernières, de toute façon, auraient été nécessaires pour les opérations logiques.

Qu'en sera-t-il de la multiplication ? Elle est exécutée par l'ordinateur tout comme on la pose par écrit en décimal, mais ici en binaire bien entendu : par additions et décalages successifs. Par exemple, soit à multiplier 9 par 11, soit en binaire, 1001 par 1011 ; on fera tout simplement :

```
            1001
          x 1011
          ------
            1001      décalages successifs
           1001 .     du multiplicande
         10010 . .    et additions
         --------
=        1100011
```

ce qui donne bien, en binaire, l'équivalent de 99 en décimal.

Donc, la multiplication exigera, en plus de l'additionneur, des circuits capables de décaler le multiplicande ; on les appelle des *registres à décalage.* Ce sont des bascules élémentaires telles que celles présentées dans la leçon précédente, mais ici, elles sont mises bout à bout et se transmettent les informations de l'une à l'autre. Toute autre structure, dynamique, par exemple, est concevable.

Reste la division comme dernière des quatre opérations élémentaires : ma foi, elle n'aura besoin d'aucun autre circuit que ceux qui viennent d'être présentés ici.

Comment jouer de tous les registres

Un programme complet exécuté par un système informatique comporte des centaines, voire des milliers d'opérations élémentaires successives. Imaginez qu'il faille commander l'impression de fiches de paie à partir de la liste du personnel, du temps travaillé, des retenues diverses à appliquer, etc. ; si l'on décompose cette «tâche» en opérations élémentaires, on établira effectivement une liste assez impressionnante d'ordres successifs.

Un comptable applique ces ordres parce qu'il en connaît la suite, et se réfère éventuellement à ses imprimés. Il faudra, si l'on veut passer à un traitement par ordinateur, ranger



cette même suite d'ordres sous forme d'instructions élémentaires simples, dans une mémoire appropriée, qui sera capable de les restituer au CPU à sa demande, l'un après l'autre, en vue de leur exécution.

Si le processus informatique est rigoureusement semblable dans son principe à celui appliqué par le comptable, une différence quantitative essentielle va faire pencher la balance en faveur de la machine : sa vitesse d'exécution est incomparablement supérieure. Mais. voyons en détail comment les choses se passent.

Tout d'abord, on dresse la liste complète des instructions à exécuter et on numérote chaque instruction dans un ordre logique : 1, 2, 3, . . . n. Puis, on traduit chaque instruction par un mot binaire en utilisant un mode de codage approprié. Tout cela relève de la «Programmation», qui sera étudiée dans la suite de ce livre. Après quoi, on fait intervenir une mémoire, actuellement à circuits intégrés surtout, dans laquelle on rangera ces informations afin de pouvoir les lire ensuite à volonté. Cette mémoire est divisée en cellules élémentaires dont chacune stocke un mot binaire ; il suffira alors d'enregistrer les mots binaires d'instructions dans les cellules sucessives de la mémoire, en respectant l'ordre de leur numérotation. Ainsi, l'instruction numéro 1 ira dans la cellule numéro 1, l'instruction numéro 2 dans la cellule numéro 2, l'instruction *n* dans la cellule *n*.

Lors de l'exécution d'un programme, on appellera ces instructions à tour de rôle, ce qui implique qu'on sache à chaque instant exactement où l'on en est. En effet, un programme peut comprendre plusieurs milliers d'instructions ; or l'ordinateur n'a pas le droit de marquer la moindre hésitation dans le choix de l'instruction suivante à exécuter : aussi se sert-on d'une sorte de bloc-notes, un registre spécialisé mis automatiquement à jour et qui tient en réserve le numéro d'ordre de la prochaine instruction.

Parce qu'il compte les instructions en respectant l'ordre numérique, on l'appelle un «compteur ordinal». C'est une

petite mémoire linéaire d'un certain nombre de bits. Ainsi, supposons qu'il contienne (en binaire) la valeur décimale 146, ce qui se code sur huit bits : 1001 0010. Cela signifie que la prochaine instruction à exécuter est la cent quarante sixième. Dès que la cent quarante-cinquième instruction est achevée, le compteur ordinal est mis en relation avec la mémoire contenant le programme (la suite des instructions, par conséquent) ; parce qu'il contient la valeur 146, il «adresse» la 146ème cellule ; celle-ci livre son contenu, qui est la 146ème instruction. Ce contenu est transféré dans une autre petite mémoire linéaire, appelée «registre d'instructions» ; un tel transfert se justifie par le fait qu'on travaillera plus aisément avec le registre d'instructions pour la suite des événements. Dès lors, le mot binaire résumant, sous forme codée, la 146ème instruction étant logé dans ce dernier registre, on peut *incrémenter* le compteur ordinal qui passe à 147 (en binaire), indiquant ainsi le numéro d'ordre de l'instruction suivante.

Que se passe-t-il ensuite ? On procède alors à l'analyse du contenu du registre d'instructions. Ce contenu, c'est un mot binaire de *n* bits, par exemple 32, répartis en groupes qu'on appelle «champs». Supposons que l'on ait affaire à 4 groupes de 8 bits (ce qui reste très crédible, bien qu'en réalité, les «formats» des mots d'instructions soient extrêmement divers). On peut alors imaginer que le premier champ code le type de l'opération à effectuer et indique, par exemple, 0010 1001, ce qui pourrait signifier si l'on se référait au dictionnaire ad hoc : «additionner». (En réalité, un tel dictionnaire ne sert que pour la traduction inverse, au moment où le programmeur cherche à convertir l'ordre *d'additionner* qu'il a prévu en un *mot binaire* qu'il pourra loger dans la mémoire de programme.)

Le second champ pourra indiquer, lui, la valeur en binaire du premier opérande. Lorsqu'il s'agit d'une addition, c'est le «cumulateur».

Pour le troisième champ, compliquons un peu le jeu : il n'indiquera pas la valeur du second opérande de l'addition (le «cumulateur»), mais l'adresse de la cellule-mémoire dans laquelle on l'aura rangé précédemment. C'est-à-dire que ce



troisième champ fournit un mot binaire désignant une cellule de la mémoire dont le contenu, cette fois, n'a plus rien à voir avec le programme puisqu'il s'agit d'une donnée.

Le quatrième champ indiquera, lui, le lieu où l'on stockera le résultat de l'opération, donc la «somme» ; ce sera, par exemple, un nouveau registre contenu dans l'unité centrale et appelé «accumulateur».

Ainsi, l'instruction a parfaitement défini une opération complète. Le décodage de ses champs est l'œuvre d'un «décodeur d'instructions» qui présidera à la suite des événements. Celle-ci commencera par la recherche en mémoire du second opérande, adressé par le 3ème champ ; temporairement, cet opérande lu dans la mémoire pourra être transféré dans un registre, et pourquoi pas, dans ce même accumulateur qui recevra ultérieurement le résultat.

Dans tout ce processus extrêmement simple une fois qu'on l'a décomposé (mais toute l'informatique n'est-elle pas aussi simple pour un bon cartésien ?), une chose frappe : l'essentiel des opérations a consisté à aller chercher des informations ou des données, à les transférer d'une mémoire vers un registre, d'un registre vers un décodeur, puis ensuite du décodeur vers l'unité arithmétique et logique afin que celle-ci exécute l'opération prescrite, puis de cette dernière vers un autre registre, l'accumulateur, qui reçoit la somme. C'est qu'en effet, l'activité principale d'un ordinateur consiste à organiser le mouvement des informations un peu à la façon dont un agent de police ou un gendarme gère la circulation ; mais pourquoi diable les informaticiens préfèrent-ils évoquer un «ballet» d'informations, avec son maître de ballet, et la scène d'un théâtre, plutôt que la chaussée et la . . . maréchaussée ?

A la découverte de la notion de programme ou : la défrustration des électroniciens

Comment procède-t-on pour transférer une information de la mémoire à un registre ? On passe par deux étapes, dont le principe est le même : transfert de la mémoire au bus de liaison, puis transfert du bus de liaison au registre ; examinons

comment s'effectue la seconde à l'aide du schéma de la figure 3, dessiné pour un bit (mais on n'oubliera pas qu'en réalité, on traite des bits en parallèle).

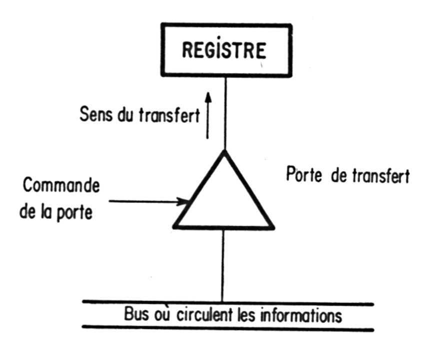


Fig. 3.

On voit que le bus attaque une porte spéciale, représentée par un triangle dont la pointe indique le sens de la circulation des informations. Cette porte, dite *porte de transfert*, reçoit de côté un signal de commande qui l'ouvre ou la ferme. Si elle conduit, le bus est mis en communication avec le registre ; si elle reste bloquée (non conductrice), le registre est isolé du bus. Dans sa forme la plus simple, une telle porte sera un unique transistor MOS (fig. 4).

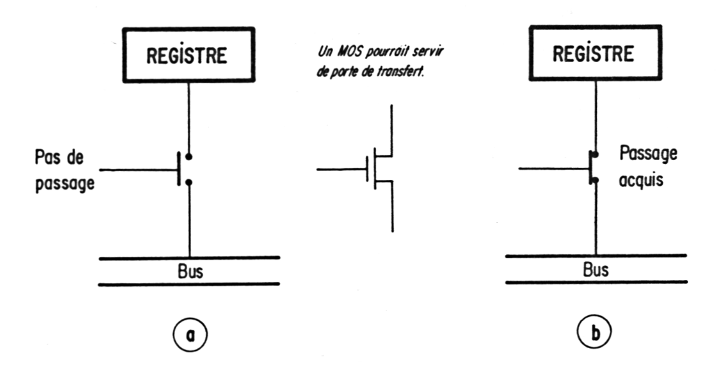


Fig. 4.

Si l'on veut lire et écrire dans ce même registre, il faudra deux portes (pour un unique bit), comme le montre la figure 5 ; le bus est dit «bidirectionnel».

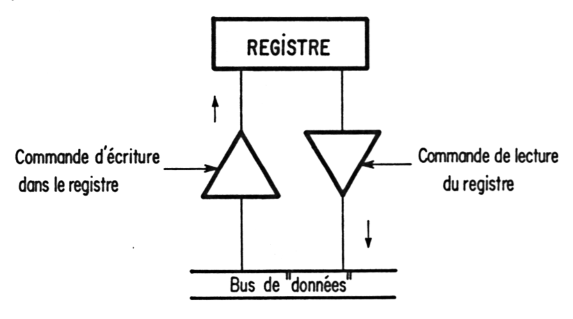


Fig. 5.

En étendant cette notion de mise en communication du registre avec le bus, à l'aide de portes, à tous les constituants de l'ALU auxquels s'ajoutent les registres, on peut atteindre individuellement chacun de ces éléments. C'est ce que montre la figure 6, où le bus de données n'est relié en bidirectionnel qu'à 4 éléments, pour conserver au schéma sa lisibilité. On voit qu'on dispose de 8 portes de transfert (toujours pour un seul bit ; mais en réalité, elles sont multipliées - en parallèle - par le nombre de bits que compte un mot), dont une seule ici est débloquée à l'aide du 1 qui lui est appliqué. Les autres portes reçoivent un 0, et restent par conséquent bloquées.

Ce mot de 8 bits (ou octet), 0010 0000, qui met en liaison le bus de données avec l'additionneur, n'est autre qu'une *instruction. En faisant se succéder dans le bon ordre de telles instructions, on organisera le ballet des informations et l'on commandera l'exécution des opérations logiques et arithmétiques.*

Une difficulté surgit toutefois : selon le principe précédent, un mot de 8 bits ne peut commander l'accès qu'à 4 éléments; 16 bits ne livreront accès qu'à 8, et 32 bits qu'à 16 : c'est peu, car le nombre de combinaisons et d'éléments qui intervient est bien supérieur.

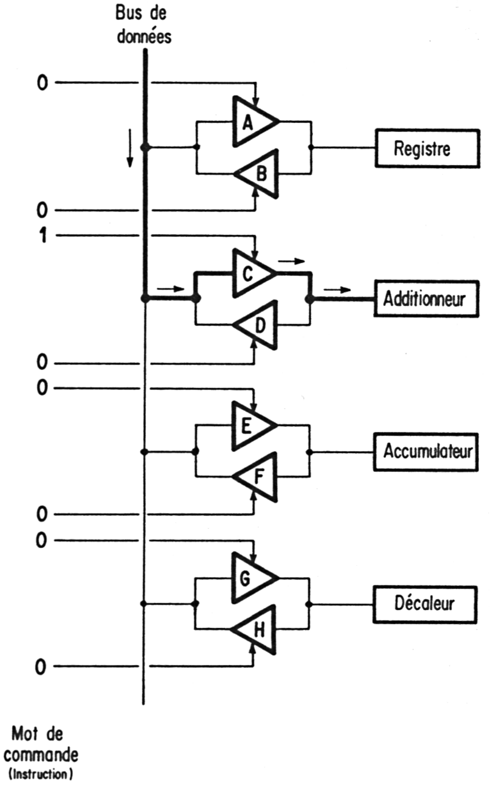


Fig. 6.

Aussi utilise-t-on ici une nouvelle astuce : le mot d'instruction ne servira pas à une commande directe mais sera codé à son tour. Puisque 8 bits peuvent coder 256 combinaisons, on obtiendra, après décodage, 256 possibilités de commandes. Celles-ci seront exécutées séquentiellement, l'une après l'autre, soit sur ordre de l'horloge pour les systèmes synchrones, soit à la réception d'un signal témoignant que l'opération précédente est achevée pour les asynchrones.

Fort bien, mais en quoi y a-t-il frustation, comme l'indique clairement le sous-titre de ce paragraphe ? Patience . . . On sait qu'on peut classer les individus en deux catégories : les électroniciens, et les autres. Or, les électroniciens qui ont

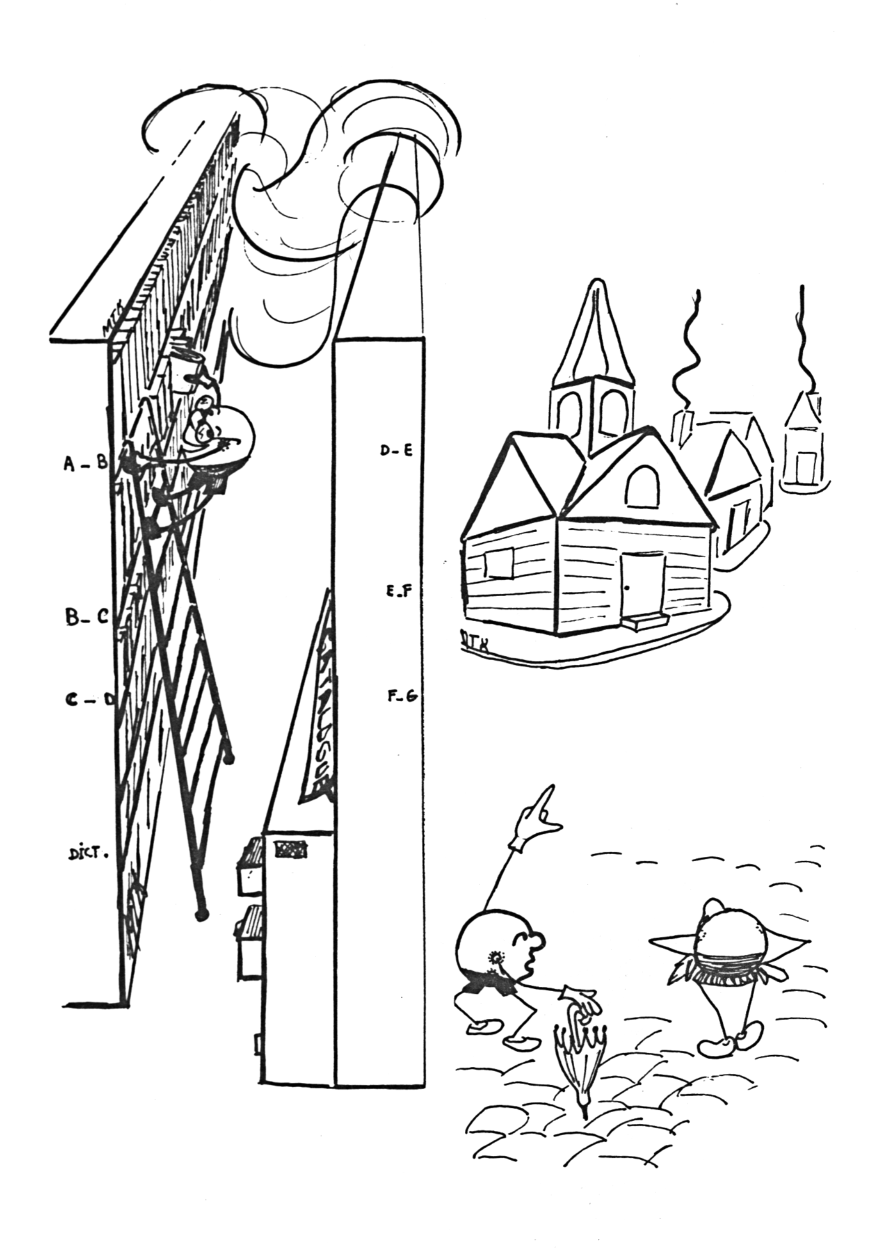
mis leur talent au service des applications de leur technique ont été soumis à rude épreuve en un quart de siècle. Pensez donc, il leur a fallu échanger les tubes électroniques contre les transistors, puis passer des transistors aux circuits intégrés, simple tout d'abord, puis MSI. Partant, ils se sont reconvertis à la logique et aux systèmes, en abandonnant les notions primaires de composant et même de circuit. Le règne du numérique commençait. Puis, on est passé au LSI, c'est-à-dire à des circuits intégrés très complexes dans lesquels on peut encore cependant définir une structure électrique fixe ; ce n'est plus le cas avec la logique programmée, c'est-à-dire l'informatique, puisque la structure du système à un instant donné dépend de l'instruction du programme.

Et c'est là que les électroniciens, qui s'orientent en masse vers l'informatique, se sont sentis frustrés : le composant qui a fait leur bonheur s'estompe dans le brouillard de la réorganisation permanente des circuits. On parle désormais de programmation, mais en omettant de préciser par quoi elle se traduit physiquement. C'est ce que l'on a voulu montrer ici. Tel le géant ANTEE qui, reprenant contact avec le sol, retrouvait ses forces, les électroniciens, en comprenant l'action du programme sur le circuit, s'assureront la maîtrise des logiques programmées.

Destination : donnée

Un humoriste, qui est très probablement Pierre DAC, avait lancé la lapalissade suivante : «Pour bien rentrer chez vous, une seule adresse : la vôtre». Transposée à l'ordinateur, cela donnerait : «Pour bien retrouver une donnée, une seule adresse : la sienne», ce qui reste rigoureusement exact mais ne va pas sans poser certains problèmes. S'ils sont évoqués ici, c'est que l'adressage des données (ou des instructions) revêt une importance majeure si l'on veut bien considérer la facilité et la souplesse d'emploi des ordinateurs.

Afin de vérifier si la docte pensée ci-dessus était bien de Pierre DAC, l'auteur s'est précipité dans une bibliothèque mais, ne sachant pas quelle était la travée qui s'honorait des œuvres immortelles de cet écrivain, il s'est d'abord référé au catalogue général des volumes disponibles. De ce fait, l'accès direct aux bons livres s'est transformé en un «accès indirect», via le catalogue général.


A – B
B – C
C – D
DICT.
D – E
E.F
F_G

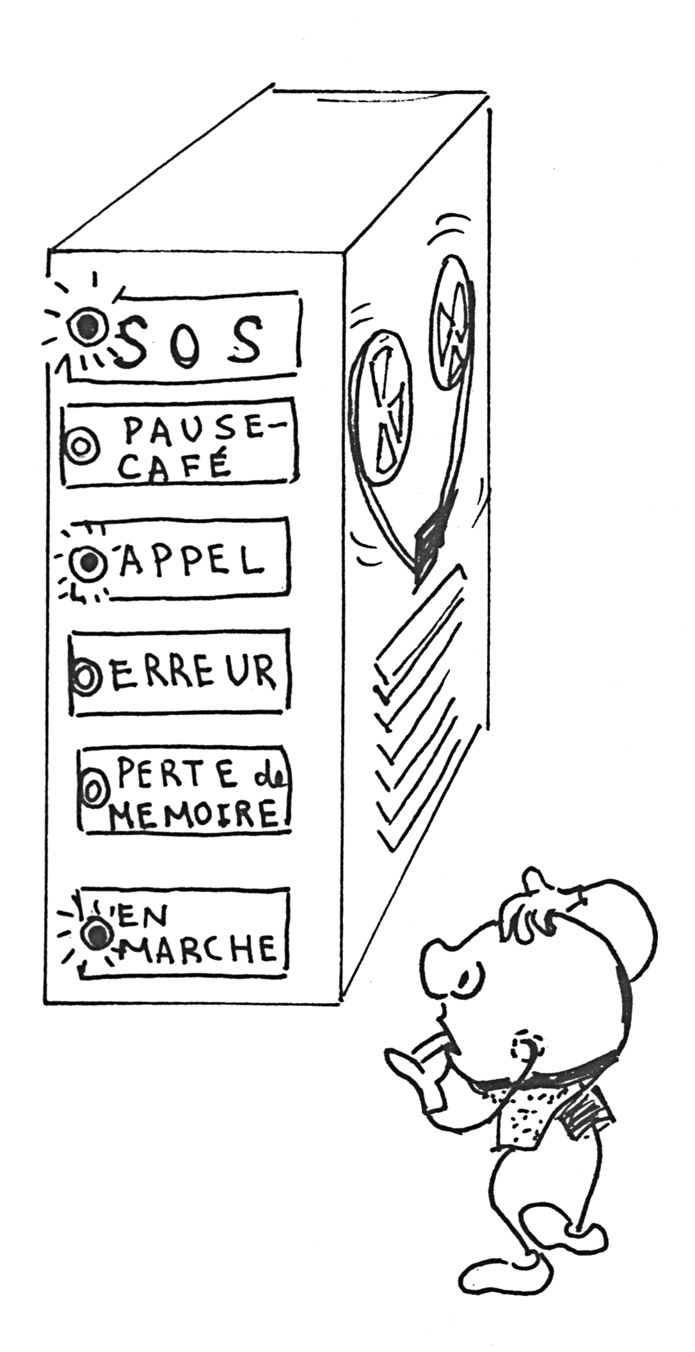
L'ordinateur connaît ces deux mêmes modes d'adressage des cellules de sa mémoire : direct, et indirect. En mode direct, l'adresse de la donnée fournie par le mot d'instruction (celle qui se trouvait dans le 3ème champ de notre exemple précédent, par conséquent) est bien celle qui contient la donnée recherchée ; on dit qu'il s'agit de l'«adresse effective». En mode indirect, l'adresse fournie par le mot d'instruction renvoie à une cellule intermédiaire, faisant partie d'un «catalogue», dans laquelle on lira une nouvelle adresse qui est, cette fois, celle de la cellule contenant enfin la donnée utile.

Lorsque la donnée est contenue dans le mot d'instruction, on économise l'étape de sa recherche en mémoire. Tel était le cas du cumulande précédent, contenu dans le 2ème champ du mot d'instruction. On dit alors qu'il s'agit d'un «adressage immédiat», ce qui témoigne de la rigueur des informaticiens qui classent en «adressage» même ce qui se passe d'adresse. Pour les puristes, ajoutons qu'on dénomme encore ce mode «opérande immédiat».

Il existe bien d'autres types d'adressage d'un très grand intérêt, comme le prouvera un minimum de pratique. Par exemple, l'«adressage relatif» qui, transposé à un renseignement sur le chemin à suivre donnerait quelque chose comme : «Vous voyez, mon bon monsieur, vous marchez tout droit jusqu'à une petite église et de là, vous comptez trois rues à gauche et vous tournez . . .». L'adresse est, ici, relative à une église ; dans l'ordinateur, elle sera relative au contenu d'un registre spécial appelé «registre de base».

Si l'on suppose que, pour plus de commodité, on a divisé la mémoire en fractions appelées «pages» et que ce registre désigne le numéro d'ordre d'une page, on l'appellera «registre de page». Ou encore, l'adresse pourra être relative au contenu du compteur ordinal . . . Comme on peut en juger, les variantes ne manquent pas mais dans tous les cas, la cellule mémoire indiquée par ce registre servira de base de départ au comptage des cellules, l'adresse fournie par le mot d'instruction n'intervenant alors qu'à partir de cette base. Qu'on s'en souvienne, car le mode d'adressage suivant procède d'un concept inverse.

Ce mode, dit «indexé», reviendrait à rechercher un bouquiniste parmi ceux qui exposent sur les quais de la Seine.


SOS
PAUSE-CAFÉ
APPEL
ERREUR
PERTE de MEMOIRE
EN MARCHE

Dans ce cas, le mot d'instruction donnera l'adresse des quais de la Seine, par exemple rive gauche et métro Saint-Michel, et de là, un registre annexe indiquera la position successive des bouquinistes : le premier sera M. Dupont, le second M. Durand, le troisième M. Dubois . . . Le contenu d'un tel registre, appelé «registre d'index», pouvant être incrémenté, une seule instruction avec une seule adresse suffira pour rendre visite à tous les bouquinistes . . . ce qui n'aurait à première vue aucun intérêt en informatique. Par contre, ce mode d'adressage indexé se révèlera éminemment pratique si l'on a à remplir un tableau dont chaque ligne suppose un calcul identique (même instruction), mais une donnée nouvelle (obtenue grâce à l'indexation).

Tels sont donc quelques-uns des modes d'adressage couramment utilisés par les machines informatiques.

Des états qui ne sont pas d'âme

Désormais, on dispose des éléments de base qui contribuent à faire de l'ordinateur ce qu'il est, tout du moins sous son aspect matériel. Il ne reste plus qu'à saupoudrer le tout de dispositifs complémentaires dont l'un des plus importants, sinon le plus astucieux, traduit ses *états de fonctionnement.*

Imaginons qu'au cours d'un match de football, le ballon entre en touche : coup de sifflet, l'arbitre agite son petit drapeau. Par analogie, dès qu'un événement qualifié de remarquable par son concepteur survient dans l'ordinateur, ce dernier brandit un petit drapeau que les Américains appellent «flag» (littéralement : drapeau) ; en France, on préfère généralement traiter d'*indicateur d'état*, ou tout simplement d'*indicateur*. Bien entendu, nul drapeau physique et réel n'intervient : on substitue à cet accessoire encombrant une simple bascule, un «flip-flop», qui prend l'une des deux positions binaires possibles, par exemple l'état zéro (0) s'il n'y a rien à signaler (ce que les militaires nous ont appris à noter : RAS), ou 1 pour l'état d'alerte. Ou rigoureusement l'inverse . . .

Afin de visualiser cet état, on peut encore brancher un voyant sur chaque bascule d'indicateur d'état (car il y en


1

a le plus souvent un certain nombre . . .) : le voyant allumé dénoncera l'alerte, par exemple pour le niveau 1. Ce sont de tels voyants que l'on voit souvent clignoter sur le pupitre de l'ordinateur, au milieu d'autres informations. De quoi témoigneront-ils donc ?

Eh bien, ils pourront fort bien renseigner sur la nature de l'opération que la machine est en train d'exécuter : lecture en mémoire, rangement d'une donnée, réalisation d'une opération . . . Ou alors, ils s'animeront si le résultat d'une opération est nul, par exemple un décomptage qui, dès lors qu'il arrive à zéro, indique que la série d'opérations en cours est terminée. Ou bien encore, ils préviendront qu'on a dépassé les capacités de calcul de la machine . . . ce qui, si l'on n'en tenait pas compte, pourrait donner des résultats navrants. Ou encore, ils transmettront des retenues arithmétiques, ou tout autre type d'information pouvant se ramener à un bit ; ou ils préviendront la machine qu'un quelconque organe périphérique désire ouvrir le dialogue avec elle, . . .

Compte tenu de la vitesse de traitement propre à l'informatique, il est évident qu'aucun opérateur humain ne serait capable de suivre l'évolution de ces indicateurs d'états. Aussi est-ce encore à la machine qu'est confié ce soin : elle va systématiquement tester elle-même ses indicateurs, soit automatiquement parce qu'on l'aura prévu par construction, soit grâce à des instructions spéciales introduites par le programmeur.

Ainsi, par exemple, elle sera amenée à tenir compte d'une éventuelle retenue précédente lors de l'opération suivante ; pour cela, elle se référera à «l'indicateur de retenue». Ou alors, elle interrogera sous commande du programme «l'indicateur d'interruptions» pour savoir si elle doit poursuivre l'exécution du programme en cours ou si elle doit l'interrompre afin d'ouvrir le dialogue avec un opérateur humain placé devant un clavier et un écran . . . , etc.

La microprogrammation

On a constaté que chaque instruction déclenche, pour son exécution, une séquence de «micro-ordres» : report au comp-

teur ordinal, recherche de l'instruction en mémoire, transfert dans le registre d'instructions, puis exécution et enfin, rangement du résultat dans l'accumulateur (sans oublier l'incrémentation du compteur ordinal au passage), etc.

Une telle séquence peut être :

— Répétitive et toujours semblable, quelle que soit l'instruction ; elle est alors établie à partir d'un certain nombre de dénominateurs communs à toutes les instructions et aboutit à une espèce de cotte mal taillée.

— Rigoureusement adaptée à chaque instruction, quel que soit son niveau de simplicité ou de complexité. C'est du «sur mesure». On le sait, le sur mesure coûte plus cher . . .

Dans le premier cas, la séquence figée est programmée dans un «séquenceur câblé». Chaque «micro-opération» prévue est exécutée si l'instruction le requiert ; sinon, on attend que le temps qui lui est imparti se soit écoulé pour passer à la suivante. Comme on peut le constater, on est loin d'une analyse fine d'exécution . . . De plus, une instruction un tant soit peu plus complexe que la moyenne, sera exécutée par adjonction des séquences utiles. Il y a là une perte de temps certaine, mais en revanche, le séquenceur câblé offre une très réelle simplicité de réalisation.

Sous bien des aspects, il s'apparente ainsi au lit du célèbre bandit PROCUSTE : au lieu d'adapter la séquence d'exécution aux besoins de l'instruction, on fait entrer celle-ci de force dans le cadre de la séquence câblée ; PROCUSTE, lui, adaptait simplement la taille de ses victimes à la longueur de son lit, par élongation ou tronçonnage . . .

Une méthode moins brutale, qui n'entrait pas dans les vues de PROCUSTE, aurait consisté à adapter le lit à la taille de ses occupants. Tel a été le souci des informaticiens : adapter rigoureusement les séquences d'exécution aux besoins des instructions, quelles qu'elles soient. Ainsi est née la *microprogrammation*, second des cas évoqués ici.

Selon ce concept, c'est l'instruction qui déclenche elle-même la séquence des micro-opérations nécessaires à son exécution, rien que cette séquence, mais toute cette séquence. Toutes les *micro-instructions* possibles ont ici été câblées, mais leur enchaînement procède d'une interprétation «intelligente» de l'instruction.

Au lieu d'un câblage «traditionnel», on peut stocker ces micro-instructions dans une mémoire morte (ROM) ; cette façon de procéder relève de la notion de *firmware*. Ce firmware ne consiste plus uniquement en matériel («hardware»), ni en logiciel («software»), mais résulte d'un mélange judicieux des deux, d'où la création d'un terme nouveau, non (encore) traduit en français.

Ces deux méthodes sont couramment exploitées en informatique, y compris dans des séries homogènes de machines.

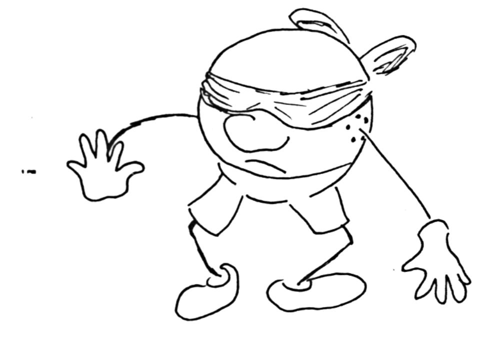
L'ouverture sur le monde extérieur

Telle que décrite jusqu'à présent, l'unité centrale de notre système informatique reste encore affligée d'un défaut rédhibitoire : elle est aveugle, sourde et muette, car on ne l'a pas mise en mesure de procéder à des échanges d'informations avec son environnement. Ces échanges sont assurés grâce à l'intervention de circuits spécialisés, dits d'entrées-sorties (ou d'E/S en abrégé). Quel est leur rôle ?

Toutes les informations sont traduites par des grandeurs binaires, elles-mêmes exprimées par des courants électriques ; pour rendre possible le dialogue entre le CPU et ses interlocuteurs, qui sont les périphériques, il faudra peut-être adapter les caractéristiques de ces courants (intensité, tension, . . .), éventuellement les amplifier . . .

D'autre part, les informations peuvent être différemment organisées dans le CPU et dans les périphériques. Par exemple, tel périphérique lent travaille en série, alors que le CPU travaille en parallèle ; par conséquent, il convient d'opérer la conversion série-parallèle, ou parallèle-série entre eux. Celle-ci devra

l'unité centrale reste affligee d'un défaut redhibitoire :

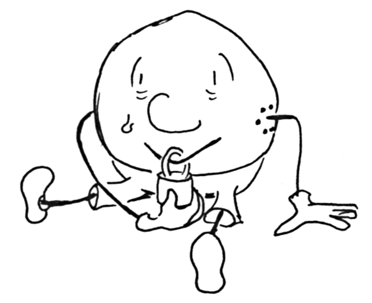


aveugle ....





et



muette ....

peut-être s'accompagner d'informations complémentaires indiquant le début ou la fin d'un message . . . L'ensemble des règles de transmission de l'information constitue une «procédure». Le rôle des éléments d'entrées-sorties consistera alors à appliquer cette procédure avec la plus grande rigueur.

Enfin, les circuits d'entrées-sorties seront parfois mis dans l'obligation de stocker temporairement les informations en transit ; par conséquent, ils devront être dotés de mémoire.

Selon la complexité des règles à appliquer et selon la complexité du réseau à piloter, les circuits d'entrées-sorties vont du simple circuit intégré à l'ordinateur spécialisé, en passant par toutes les gradations intermédiaires.

Que l'ordinateur soit !

Un synoptique complet d'ordinateur est donné figure 7. On y retrouve le CPU (dans lequel cohabitent l'ALU, les circuits de cadencement ou le microprogramme, les registres

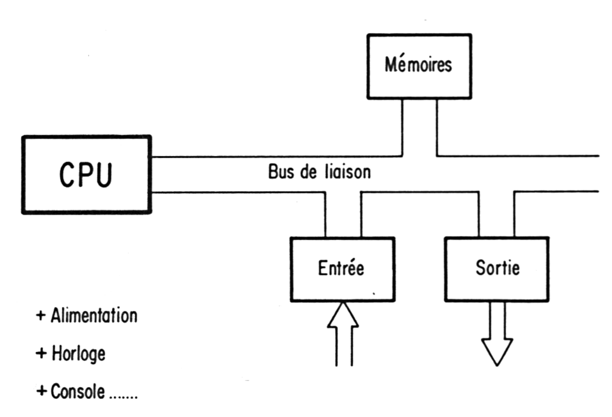


Fig. 7.

de travail), des mémoires à circuits intégrés qui peuvent être des RAM, mais aussi des ROM, et des circuits d'interface. On leur ajoutera une horloge éventuelle, une alimentation, et on

placera le tout dans une boîte ou une armoire métallique. Le miracle est désormais accompli, l'ordinateur est né.

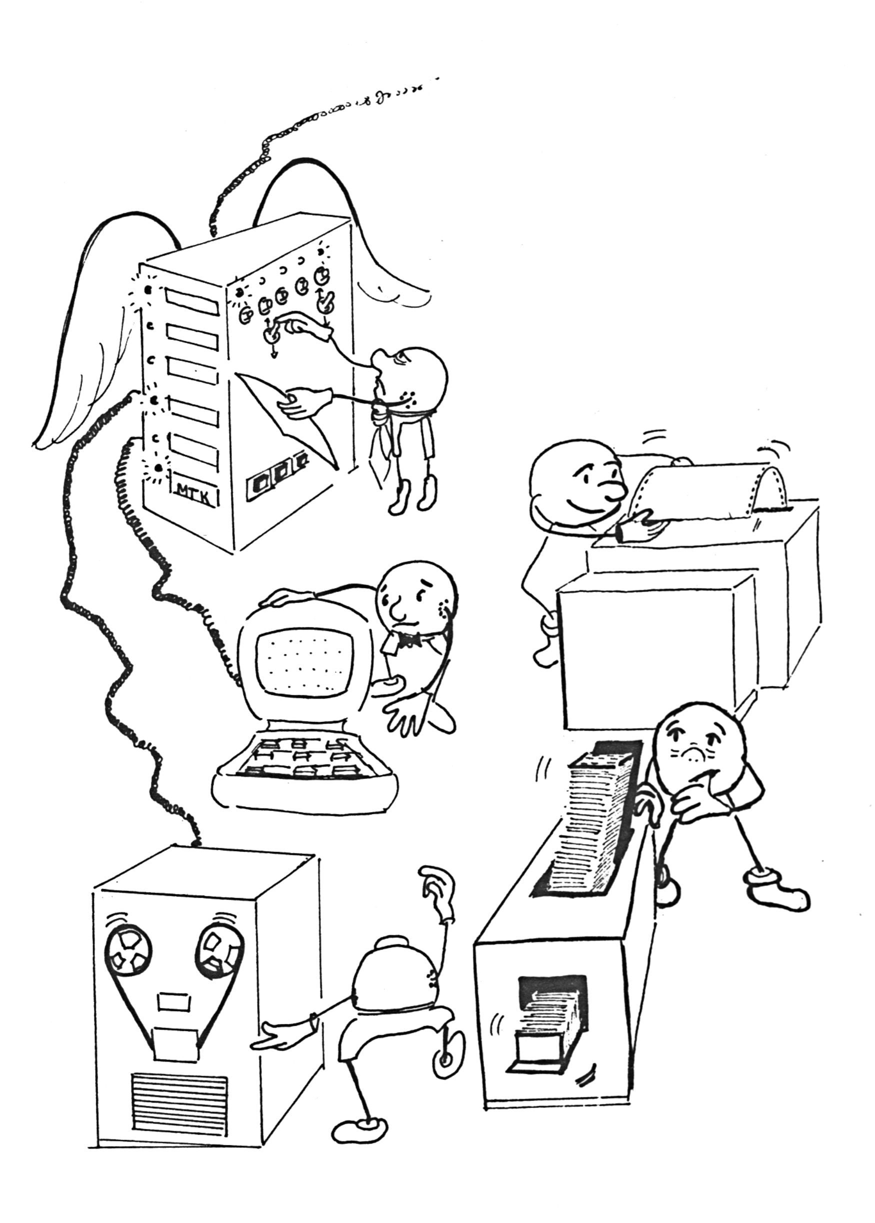
Sur la face avant de cet ordinateur, on pourra implanter des interrupteurs, des boutons de commande et des poussoirs; à quoi serviront-ils ? Supposons que l'ordinateur travaille sur des mots de 16 bits ; on placera sur le panneau avant 16 interrupteurs en ligne, chacun de ceux-ci représentant un bit, 0 ou 1, selon sa position , on pourra ainsi former un «mot», qu'un bouton-poussoir expédiera dans le CPU. Un tel mot constituera, selon les besoins, un numéro d'ordre d'opération et par conséquent une adresse en mémoire, ou encore une donnée. Des voyants apporteront un moyen de contrôler ce mot ; d'autres serviront à afficher les «états» de fontionnement de la machine.

Ajoutons que ce mode d'introduction manuelle (à l'aide d'interrupteurs) des informations dans l'ordinateur est excessivement long et que, de surcroît, il mène immanquablement à des erreurs dès que le nombre de mots à former dépasse la demi-douzaine. . . Heureusement, il existe d'autres méthodes comme on le verra en étudiant la programmation.

Du plus petit jusqu'au plus grand . . .

Dans une salle d'ordinateur, ce sont essentiellement les périphériques mécaniques qui attirent l'attention du profane, car visiblement, il se «passe quelque chose» : trieuse de cartes, mémoires à bandes magnétiques . . . L'ordinateur proprement dit est moins spectaculaire, bien que le clignotement de ses voyants traduise sa vie interne ; pourtant, l'âme du système est là.

Au début de l'informatique, lorsqu'on utilisait des tubes électroniques, il fallait plusieurs armoires de plusieurs mètres cubes pour loger l'ensemble des organes de la machine. Au fur et à mesure des progrès de la technologie, de l'avénement des transistors à celui des circuits intégrés, les volumes ont été divisés par 10, 100, 1000 et même 10 000, alors même que la puissance des machines ne cessait de croître.


MTK

Aujourd'hui, l'ordinateur se présente physiquement soit sous forme d'une armoire standard, *d'une baie*, pour les gros ordinateurs ou les minis, ou même simplement d'un tiroir *ou d'un rack*. L'exception réside dans les «micro-ordinateurs», puisqu'on songe sérieusement à les incorporer aux montres-bracelets. Arrêtons-nous un instant sur cette technologie des plus récentes.

La micro-informatique

Le premier ordinateur transistorisé, commercialisé en 1960, comprenait 4000 transistors et quelques milliers de diodes ; pour loger tout cela il fallait, à l'époque, une armoire de volume important. Aujourd'hui, ce total de composants est intégré dans une puce de 25 mm^2 de silicium et tient dans le creux de la main. . .

Aussi fabrique-t-on désormais couramment des CPU complets en un seul circuit intégré. On les appelle des *microprocesseurs*. La définition du microprocesseur est : un *microprocesseur est un circuit intégré LSI commandé par un programme et capable d'exécuter toutes les fonctions d'une unité centrale d'ordinateur.*

En associant un tel microprocesseur à des mémoires, des circuits d'entrées-sorties, une horloge, une alimentation . . . comme on vient de le voir, on aboutit à un micro-ordinateur : *un micro-ordinateur est un ordinateur élaboré autour d'un microprocesseur.*

Il est cependant évident que toute la gamme des ordinateurs a bénéficié des mêmes progrès de la technologie, aussi cette notion de volume doit-elle être associée à celle de «puissance». Dans l'ordre décroissant des puissances, on trouve ainsi les gros ordinateurs, puis les mini-ordinateurs, et enfin les micro-ordinateurs (avec de nombreux ordres intermédiaires, imaginés souvent pour des besoins commerciaux). Le micro est donc le moins puissant d'entre eux, et il sera par conséquent spécialisé : on lui confiera une mission précise et une seule, et il exécutera un programme unique. Dans un tel cas, il sera le plus économique des ordinateurs.

Le premier micro-ordinateur au monde à avoir été commercialisé est le «Micral», de la société française R2E, qui est né en 1973. Du volume d'une petite valise, il peut cependant être comparé, en puissance, au 360/20 des anciennes séries 360 d'IBM. Le Micral actuel est élaboré autour d'un microprocesseur appelé le «8080» et valant quelque 100 francs l'unité. On le voit, on est loin des prix de revient des CPU des techniques anciennes ; la distance est d'une à deux puissances de 10.

Ainsi, les micro-ordinateurs vont-ils puissamment contribuer à faire intervenir l'informatique dans tous les domaines des activités humaines, en particulier là où, jusqu'alors, elle ne pénétrait pas en raison d'impératifs économiques ou physiques : automobiles, matériels électroménagers, téléphone, radio-TV, jeux . . . ; ils vont considérablement développer l'utilisation de l'informatique dans l'industrie, l'enseignement, etc., en permettant une très réelle et économique décentralisation de la puissance de calcul. Probablement encore provoqueront-ils un spectaculaire développement des réseaux informatiques, où de multiples CPU distants sont interconnectés ; enfin, on en attend même un extraordinaire accroissement de la puissance des ordinateurs dits classiques.

En effet, on peut fort bien réunir de nombreux micro-ordinateurs et les faire travailler ensemble à une même tâche : leur puissance est multipliée. C'est ce qu'a fait, dès 1976, une société américaine, IMS, qui a réuni plusieurs dizaines de microprocesseurs et a ainsi proposé «le plus puissant des ordinateurs du monde» de cette époque . . .

Lequel choisir ?

Comment apprécie-t-on un ordinateur ? De nombreux paramètres interviennent pour en mesurer les qualités ; ils ne sont malheureusement pas normalisés.

L'un de ceux-ci concerne la vitesse de traitement. On l'évalue en mesurant la vitesse d'exécution d'une instruction de base, addition ou multiplication, par exemple. Ainsi, la multiplication qui exigeait 10 millisecondes en 1950, a été réalisée en 1 ms en 1960, puis quelques 100 microsecondes en

1970, en valeurs-types. Une opération plus simple, telle que l'addition, demande en 1977 moins d'une microseconde. C'est-à-dire qu'en une seconde, la machine est capable d'exécuter environ un million d'opérations ! C'est cela qui lui confère son avantage sur le cerveau humain.

Les autres caractéristiques de la machine pourraient constituer une liste assez impressionnante ; comme, de surcroît, le langage des informations est assez ésotérique, nombre de ces caractéristiques échapperaient à l'entendement du profane sans autre développement .

Le problème du choix d'un ordinateur reste donc assez complexe à résoudre. Il passe par des études comparatives d'informations souvent peu aisées à comparer. Comme règle fondamentale, on pourra dire que c'est l'application envisagée qui constituera le premier critère de sélection. Quant aux autres, il faudrait un volume complet pour les développer.

La notion de prix est encore plus difficile à appréhender : les prix sont, en effet, par trop sujets à variation pour qu'on puisse s'engager sur un tel terrain. On considère généralement aujourd'hui que le prix des ordinateurs décroît en importance devant celui des unités périphériques et du logiciel. Car dès lors que l'on sait de façon de plus en plus économique fabriquer une unité centrale, c'est tout son environnement qui surgit en avant-plan.



PROGRAMMONS L'ORDINATEUR

Nous disposons maintenant de connaissances suffisantes quant aux mécanismes qui gèrent le fonctionnement d'un ordinateur.
Nous en connaissons également les constituants essentiels : mémoires, registres, etc . . et nous savons comment circulent les différents signaux électriques, images de notre information.
Il nous manque pourtant une chose essentielle : *les règles du jeu.*

Les règles du jeu

Ces règles du jeu sont appelées *programmes* et nous allons *programmer* notre ordinateur, c'est-à-dire en commander les différents organes pour qu'ils accomplissent leurs fonctions selon les choix de l'utilisateur.

Nous verrons qu'il y a programme et programme, puisque le programme de l'utilisateur - le calcul d'une TVA par exemple - ne pourra être pris en compte par la machine que si elle y a été préparée à l'aide d'autres programmes.

On désignera souvent les premiers par l'appellation *d'information traitée* et les seconds par celle *d'information traitante.*

Les programmes de l'utilisateur

Maintenant que nous savons comment fonctionne un ordinateur, il ne nous reste plus qu'à l'utiliser ; encore faut-il


CUISINE
défense d'entrer
l'ordinateur est comme un grand restaurant dont les clients sont les utilisateurs..

savoir comment l'aborder ; nous dirions presque comment lui parler.

Il n'est pas question d'utiliser notre propre langage mais de nous astreindre à apprendre le sien, d'ailleurs nettement plus rudimentaire. C'est ce langage, qui contient les règles du jeu, que nous appelons programme.

Nous programmons donc notre ordinateur, c'est-à-dire qu'en fait nous traduisons nos ordres, exprimés en langage clair, en une suite d'instructions élémentaires que l'ordinateur saura reconnaître. Une fois déterminée la suite - on dit aussi la séquence - d'instructions qui traduit l'ordre que nous voulons donner, par exemple un calcul, nous la rangeons dans la mémoire de la machine.

Puis nous allons exécuter chaque commande élémentaire l'une après l'autre, les puristes disent *séquentiellement,* de la première à la dernière.

Il est clair que cette façon de procéder devient vite longue et pénible ; ainsi, si nous voulons calculer la TVA sur le total d'une facture à partir des formules :

TVA est égal à TOTAL X Taux TVA ÷ 100

où TOTAL représente le montant total de la facture,

le montant final à payer étant TOTAL + TVA.

Voici la transformation en instructions élémentaires telle que nous pourrions l'enregistrer dans la mémoire de l'ordinateur :

Ordre	Opérations effectuées	instructions machine	
1	préparer une multiplication, à partir du total	←	TOTAL
2	multiplier par le TAUX de TVA	X	TAUX-TVA
3	Diviser par 100	÷	100
4	Stocker ce résultat dans la mémoire TVA	→	TVA
5	préparer une addition avec le TOTAL	←	TOTAL
6	Additionner le résultat obtenu en 4	+	TVA
7	Stocker ce résultat en mémoire «A PAYER»»	→	A PAYER
8	S'arrêter	STOP	

. . . alors qu'il aurait été simple d'écrire (de programmer) :

TVA ← TOTAL X TAUX TVA ÷ 100
A PAYER ← TOTAL + TVA

Ces formules que nous comprenons bien ont pourtant servi de base à cette programmation fastidieuse.

Le langage de la machine nous est inaccessible, car trop détaillé

La complexité du programme décomposé sera la même, qu'il s'agisse d'un calcul d'intérêts composés, de la vitesse d'un train, ou de celle d'une particule : à partir des formules, il faut déterminer la séquence de codes machine qui leur correspond.

Afin de simplifier et, dans la plupart des cas de permettre, la programmation des traitements que nous voulons effectuer, il faut que nous puissions nous exprimer dans un langage qui nous est familier, mais que la machine ne comprend pas. Il


et voici le
"menu-programme"
commandé ....

faut ensuite *traduire* ce programme, écrit dans un langage proche de notre pensée, - on dit évolué - en un programme écrit dans le langage de la machine. Ce dernier pourra alors être exécuté.

On appelle *langages de programmation* ces langages compris par les machines. Ils permettent soit des traitements sur des opérations de gestion (COBOL), soit des calculs scientifiques (FORTRAN, ALGOL . . .), soit des travaux mixtes, scientifiques et de gestion (PL/I, APL etc . . .)

Les langages de programmation et leur compilation

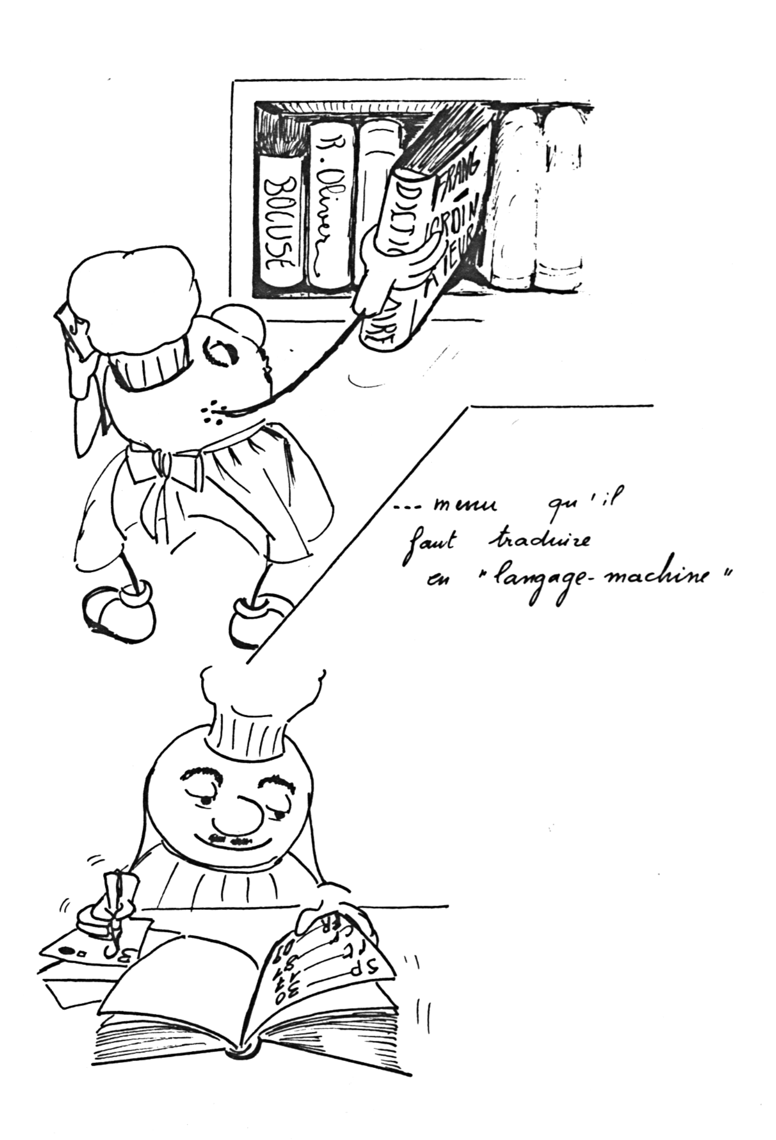
Ainsi, lorsque nous voulons effectuer un traitement, nous le programmons, en utilisant l'un de ces langages. Puis nous introduisons ce programme dans l'ordinateur, par exemple, par l'intermédiaire d'un paquet de cartes que nous avons perforées. Chaque carte contient une instruction en langage évolué. Une fois que ce paquet de cartes est préparé, nous appelons un programme spécial, dénommé *compilateur,* dont le but est de lire le paquet de cartes, puis de transformer les instructions évoluées - que nous comprenons encore - en un grand nombre d'instructions élémentaires - que seule la machine comprend.

Il est à noter qu'il peut exister une *étape intermédiaire* pour laquelle intervient un autre programme de traduction appelé *assembleur.*

En effet sur certaines machines, généralement petites, l'utilisateur programme directement en *langage d'assemblage*, c'est-à-dire avec des instructions moins puissantes, qui sont une suite de *code mnémoniques* des opérations à exécuter, et qui seront traduits en langage machine. Ces instructions simplifiées sont directement représentatives des *codes opération* de la machine concernée.

exemple :

Soit à *charger* le registre A avec la quantité contenue dans la mémoire M1 ; y *ajouter* 100 et *ranger* le tout dans la mémoire M2. On aura la suite d'instructions suivante :


BOCUSE
R. Olivier
... menu qu'il faut traduire en "langage-machine"

```
DEBUT
CHA    M1
ADA    100
RGA    M2
FIN
```

Enfin ce programme d'instructions élémentaires est transcrit par le compilateur sous forme de cartes perforées. Ce second paquet de cartes est ensuite introduit dans la machine, et les instructions qu'il contient sont exécutées. Bien sûr, ce programme, traduit dans le langage de la machine, peut être exécuté aussi souvent qu'on le souhaite, et il effectue chaque fois fidèlement le traitement demandé. Ce programme *exécutable* peut être contenu dans un paquet de cartes, concrètement manipulable, mais il peut aussi être copié sur tout autre support. En particulier, les programmes sont souvent enregistrés sur un disque magnétique, et il suffit alors de les appeler par leur nom pour qu'ils soient copiés dans la mémoire centrale, puis exécutés. De cette façon, les manipulations de cartes perforées, toujours périlleuses (qui n'a pas fait tomber un paquet de cartes . . .), peuvent être évitées.

Les langues naturelles ne peuvent servir de langage de programmation

Les langages de programmation sont très différents des langues dites «naturelles», c'est-à-dire que nous parlons tous les jours. En effet, l'ordinateur est une machine inintelligente et les programmes que nous écrivons pour son utilisation doivent décrire complètement les traitements à effectuer, sans aucune ambiguïté. L'ordinateur ne sait pas interpréter une situation (il ne sait faire que des additions, des comparaisons et des copies d'une mémoire sur une autre). Au

contraire de la machine, l'homme est doué de sensibilité et peut comprendre à demi-mot des situations ambigües.

En exemple, lorsque nous évoquons le jugement de SALOMON nous ne précisons pas si SALOMON était le juge . . . ou l'accusé ; l'ordinateur n'a aucune subjectivité et ne peut comprendre que ce qui est complètement énoncé. De plus notre vocabulaire - plusieurs milliers de mots - est beaucoup plus riche que celui des compilateurs - quelques dizaines de codes -. Actuellement, il est impossible de créer des compilateurs fonctionnant raisonnablement, possédant en même temps un tel vocabulaire, une grammaire aussi complexe et ayant la faculté d'agir même quand la demande faite est ambigüe.

Ce que l'on ne peut pas demander à l'ordinateur

Connaissant le total Hors Taxe d'une facture, calculer son total T.V.A. comprise.
(L'ordinateur ne connaît ni les lois comptables ni les lois fiscales).

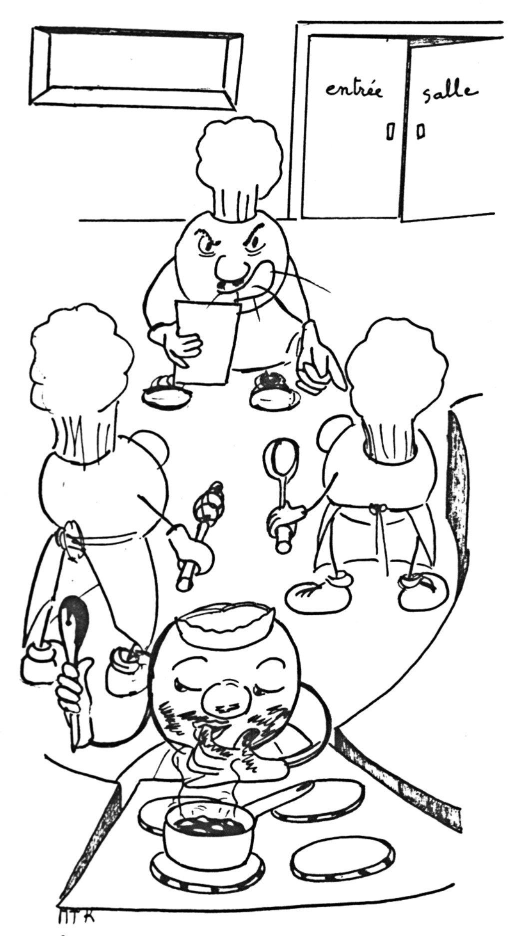
Ce que l'on peut programmer

```
    TVA ← TOTAL X 17.6 ÷ 100
APAYER ← TOTAL + TVA
```

(le programmeur connaît la législation en vigueur)

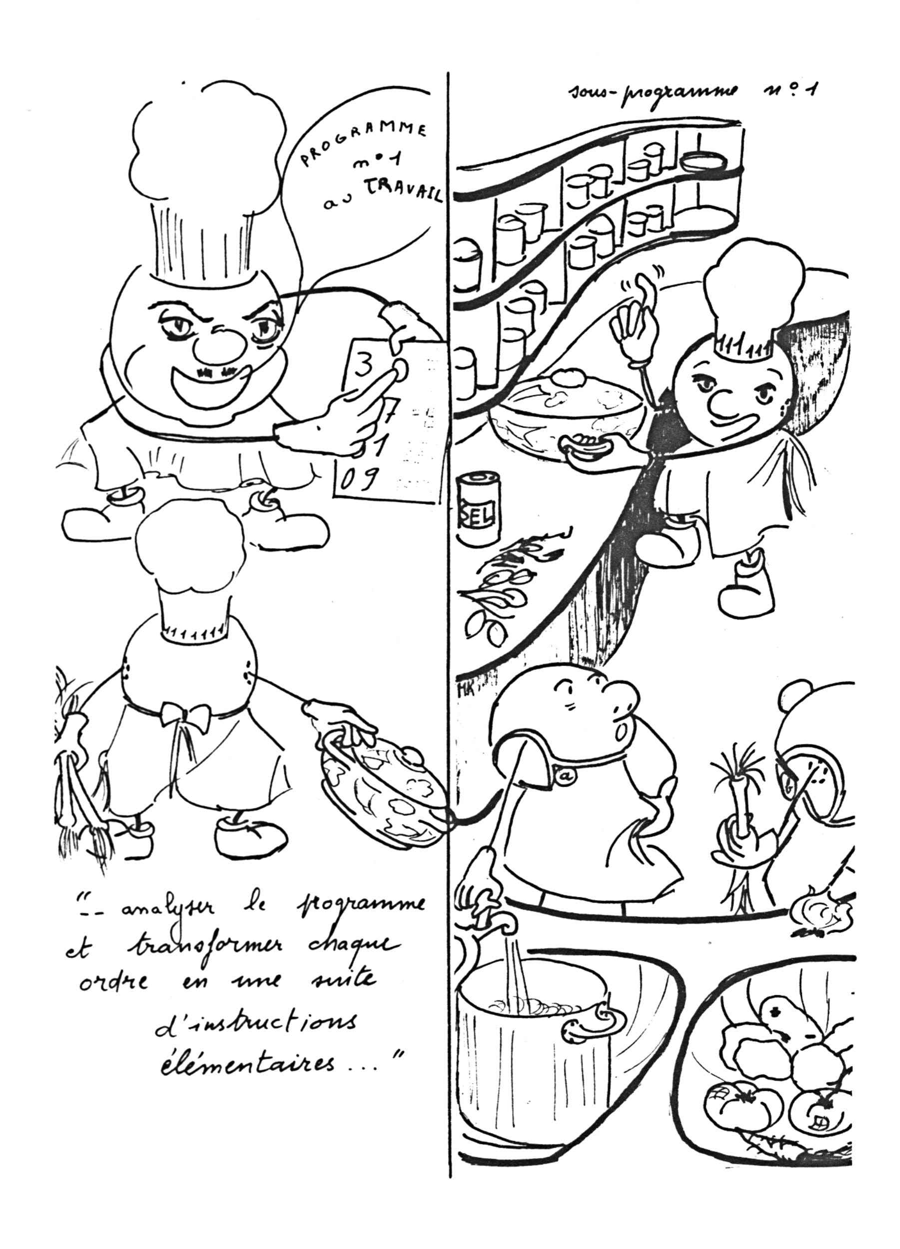
Ne nous fatiguons pas inutilement

Nous nous sommes résignés : il est inutile d'attendre que l'ordinateur travaille seul, et réponde à nos questions. Bien au contraire, il faut que nous lui indiquions, dans le détail, la suite des opérations qu'il doit effectuer pour y répondre. Les langages de programmation simplifient cette tâche, en associant des noms de *variables* à des emplacements de mémoire, en regroupant en un ordre simple des séquences d'instructions élémentaires, en permettant la programmation de boucles, la création de *sous-programmes*. Nous allons étudier ces caractéristiques des langages de programmation,



--- le programme peut être executé.


programme
n° 3
30
17
21
09


PROGRAMME n°1 au TRAVAIL
sous-programme n°1
3
7
1
09
SEL
"-- analyser le programme et transformer chaque ordre en une suite d'instructions élémentaires ..."

et montrer que la mise en place d'une application complexe peut être divisée en travaux indépendants, chacun d'eux demandant un travail raisonnable.

Où les variables sont appelées par leur nom

Tout d'abord, les langages de programmation organisent eux-même l'occupation de la mémoire. Lorsque nous programmons dans le langage de la machine, nous devons coder, par exemple :

01 30 28, ce qui signifie : faire la somme (01) du nombre placé dans la mémoire à l'adresse 30 à celui localisé en 28. Le programmeur doit alors connaître précisément le contenu de chaque mémoire. Une telle programmation est possible sur une calculatrice de poche, dotée de quelques mémoires. Nous connaissons à tout moment le contenu de chacune d'elle. Quand nous disposons de plusieurs centaines de positions de mémoire, un tel travail n'est plus possible. Par le recours à un langage évolué, nous ne désignons plus les informations par leur adresse, mais par leur nom. Chaque information ainsi nommée s'appelle une variable. Ainsi dans l'exemple du calcul de la TVA, nous mettons en jeu les variables TOTAL, TAUXTVA, TVA, ACOMPTE, APAYER. Pour traduire un programme, le compilateur commence par repérer toutes les variables utilisées, puis il leur attribue une adresse dans la mémoire. Il peut ensuite analyser le programme et transformer chaque ordre en une suite d'instructions élémentaires pour obtenir le programme exécutable par la machine, où chaque nom de variable a été remplacé par son adresse.

Ce que peut représenter une variable

Dans cet exemple, une variable représente un nombre. Mais les traitements que nous effectuons portent aussi sur du texte. Dans ce cas, une variable peut désigner une suite de caractères, appelée chaîne de caractères, et le programme manipule ces caractères : le nom et l'adresse du client constituent deux variables contenant des caractères. Le traitement que nous leur faisons subir est, le plus souvent, un déplacement, en vue d'un stockage sur un support externe, ou

d'une édition sur une imprimante. Les caractères peuvent aussi être comparés entre eux. L'établissement d'une liste triée par ordre alphabétique est un exemple de traitement que peuvent subir les chaînes de caractères.

Enfin, pour simplifier encore le travail de programmation, une variable, sous un seul nom, peut contenir plusieurs nombres. Par exemple, certaines catégories de clients ont une remise sur le total de la facture. Connaissant la catégorie de ce client — nombre compris entre 1 et 5 — on obtiendra le montant de la remise par le n-ième élément de la variable appelée REMISES, qui contiendra les 5 taux de remise possibles.

Lors de la programmation, nous avons remplacé les adresses en mémoire par des appels à des variables. Désignée par son nom, chaque variable peut contenir un ou plusieurs nombres, un ou plusieurs caractères.

La boucle, pilier de la programmation traditionnelle

Nous avons vu qu'il était possible d'exécuter plusieurs fois de suite une même séquence d'instructions grâce aux comparaisons et aux débranchements. Ainsi, pour calculer le capital obtenu après un dépôt de 5 ans, au lieu de programmer 5 fois de suite :

CAPITAL ← CAPITAL X (1 + intérêt)

On peut programmer ce calcul une seule fois et le faire précéder par une commande du langage de programmation imposant qu'il soit exécuté cinq fois de suite. Le programme créé par le compilateur exécutera ce calcul, puis reviendra au point de départ, en comptant le nombre de tours (boucles), et ce calcul sera à nouveau exécuté. Au bout de cinq exécutions le programme continuera par l'ordre suivant.

Cette importante opération de programmation s'appelle une boucle. Par exemple, si nous voulons effectuer un traitement de facturation, il faut lire, depuis un support externe, les éléments d'une facture, calculer cette facture, éditer, puis revenir au début, par une boucle, pour traiter la facture suivante.

Un jour . . .

```
        TOTAL FACTURE

[1]     TVA ← TOTAL X TAUX TVA ÷ 100
[2]     APAYER ← TOTAL + TVA
```

Dans le programme appelé «total facture»

TOTAL à l'adresse	1
TAUXTVA à l'adresse	10
TVA à l'adresse	2
APAYER à l'adresse	3

Un peu plus tard, après modification du programme et sa compilation

```
        TOTAL FACTURE

[1]     REMISE ← TOTAL X 0.02
[2]     TOTAL ← TOTAL — REMISE
[3]     TVA ← TOTAL X TAUX TVA ÷ 100
[4]     APAYER ← TOTAL + TVA
```

Après ce calcul d'une remise de 2 %,

TOTAL est à l'adresse	1
REMISE est à l'adresse	2
TAUXTVA est à l'adresse	12
TVA est à l'adresse	3
APAYER est à l'adresse	4

Comment l'adresse d'une variable peut changer, sans que le programmeur doive tout réécrire ; le compilateur se charge de ce travail.


.. il est possible d'exécuter plusieurs fois de suite
....
une même séquence !


?
test n° 1
fin ? non
...revenons au point de départ


test FIN n°2
: oui

Les sous-programmes, pour satisfaire notre esprit cartésien

Enfin, il n'est pas question d'écrire un programme qui, seul va effectuer tout le traitement désiré. En général, les problèmes posés sont tels que les programmes qui pourraient leur correspondre contiennent plusieurs centaines, ou plusieurs milliers d'instructions. L'une des premières opérations à effectuer est le découpage de ce traitement en plusieurs traitements indépendants, appelés «modules», chaque module ayant un rôle particulier. Les difficultés étant réparties sur plusieurs programmes, nous pouvons commencer la programmation de ces modules avant que tous les problèmes soient résolus.

Chaque module est un petit programme et peut être appelé par un autre programme. Ce module est aussi appelé «sous-programme», car c'est un programme sous le contrôle d'un autre programme. Par exemple, si nous voulons créer une facture, nous écrivons plusieurs sous-programmes qui

— iront lire sur un support externe les commandes pour un client.

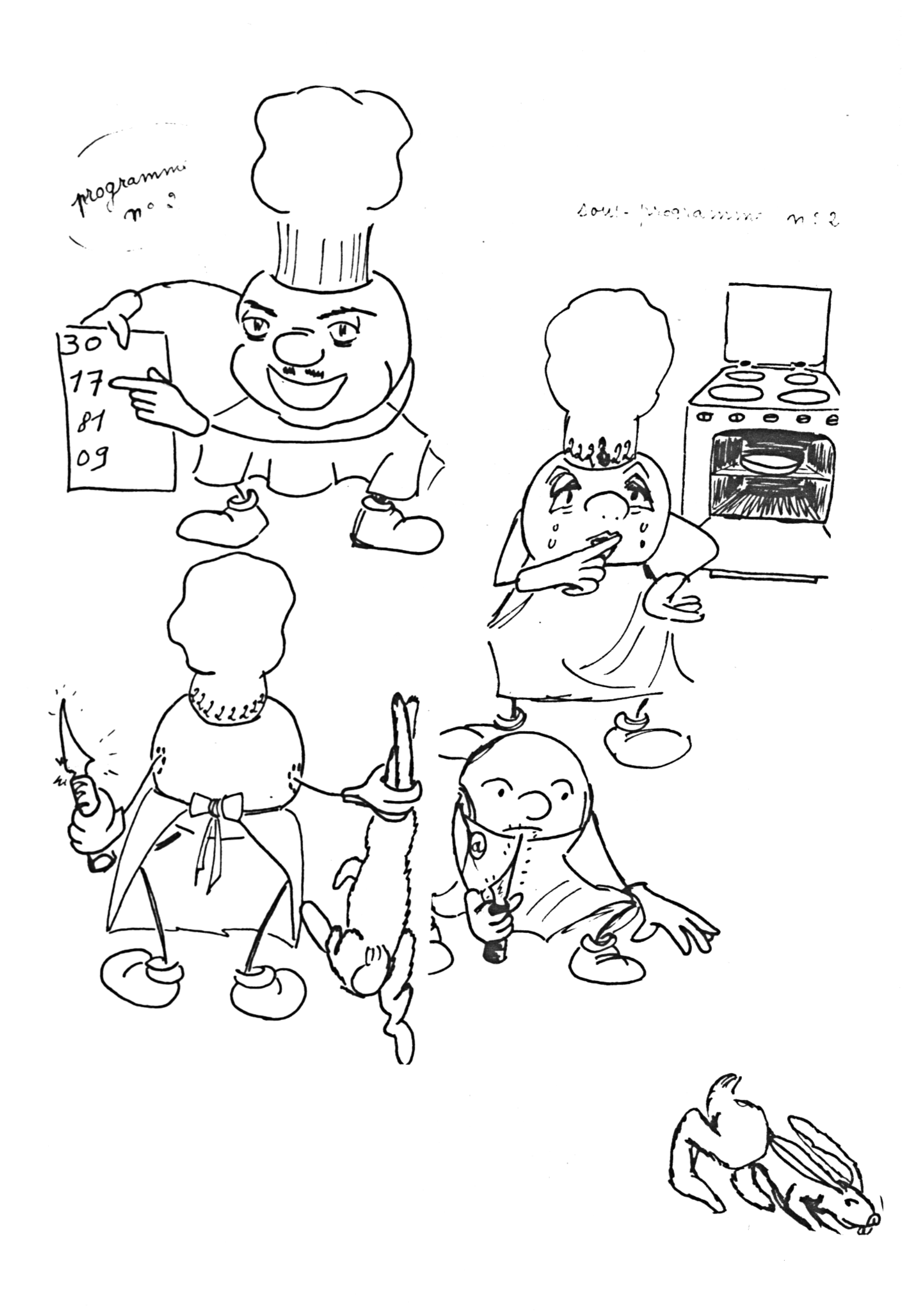
— donneront le prix d'un article, connaissant son code.

— imprimeront la facture constituée.

Le programme principal sera simplifié :

— appeler le sous programme de lecture de la commande suivante.
— pour chaque article, connaître le prix.
— calculer la somme des prix, en tenant compte des quantités demandées.
— calculer la TVA à ajouter au total de la facture.
— appeler enfin le sous-programme de création et d'impression de la facture terminée.

Ces sous-programmes peuvent être appelés par un même programme en plusieurs endroits différents. De cette façon, nous programmons une seule fois une séquence d'opérations qui est effectuée plusieurs fois. Ainsi le travail de programmation est facilité, chaque sous-programme pouvant être essayé, testé et mis au point indépendamment des autres.


programm
sous-programme n° 2
30
17
81
09


HUILE
XII × 3
:2
+ VI

Les sous-programmes peuvent eux aussi être d'utilité publique . . .

De plus, certains de ces sous-programmes pourront être utilisés dans d'autres programmes. Dans notre exemple, nous avons écrit un sous-programme qui détermine le prix d'un article dont on connaît le code. Si, maintenant, nous voulons écrire un programme qui calcule le montant du stock disponible, nous pouvons utiliser ce sous-programme, tel qu'il est, sans avoir besoin, même, de connaître ce qu'il contient.

. . . ils peuvent aussi être utilisés pour d'autres personnes

Lorsque nous définissons et utilisons des sous-programmes, tout se passe comme si le langage de programmation était enrichi de nouveaux ordres s'occupant des traitements spécifiques à notre problème. A la limite, nous pouvons écrire un programme nouveau comme étant uniquement un assemblage de sous-programmes pré-existants. La mise en place d'un nouveau programme est alors extrêmement simple et rapide.

Après avoir écrit des sous-programmes d'accès aux données d'une facture, de calculs statistiques, etc . . . dont nous avons déjà eu besoin, si nous voulons écrire un programme donnant des statistiques de facturation, il suffira de puiser dans cette *bibliothèque* de sous-programmes, puis d'écrire un programme qui ne contiendra que des appels à cette bibliothèque. Un tel programme sera alors créé en quelques minutes.

Ne nous affolons pas ! Grâce aux langages de programmation, la création d'un programme n'est pas réservée aux génies laborieux, mais est ouverte à beaucoup d'entre nous.



COBOL	Travaux de gestion manipulation de fichiers mises en page
FORTRAN ALGOL	Travaux scientifiques manipulations de formules calculs mathématiques
PL/1	Regroupe les possibilités de COBOL, FORTRAN, ALGOL
BASIC	Langage dérivé du FORTRAN, adapté à l'utilisation depuis un terminal
APL	Langage créé à partir des besoins de gestion, statistiques, mécanique . . . Utilisable à partir de terminaux
GAP (RPG)	Générateur Automatique de Programmes. Ces programmes effectuent des travaux simples de gestion, avec éditions et mises en page.

Les langages de programmation usuels




le programme
est exécuté
...
manque-t-il
quelque
chose ?

QUAND L'HOMME EXPLOITE LA MACHINE

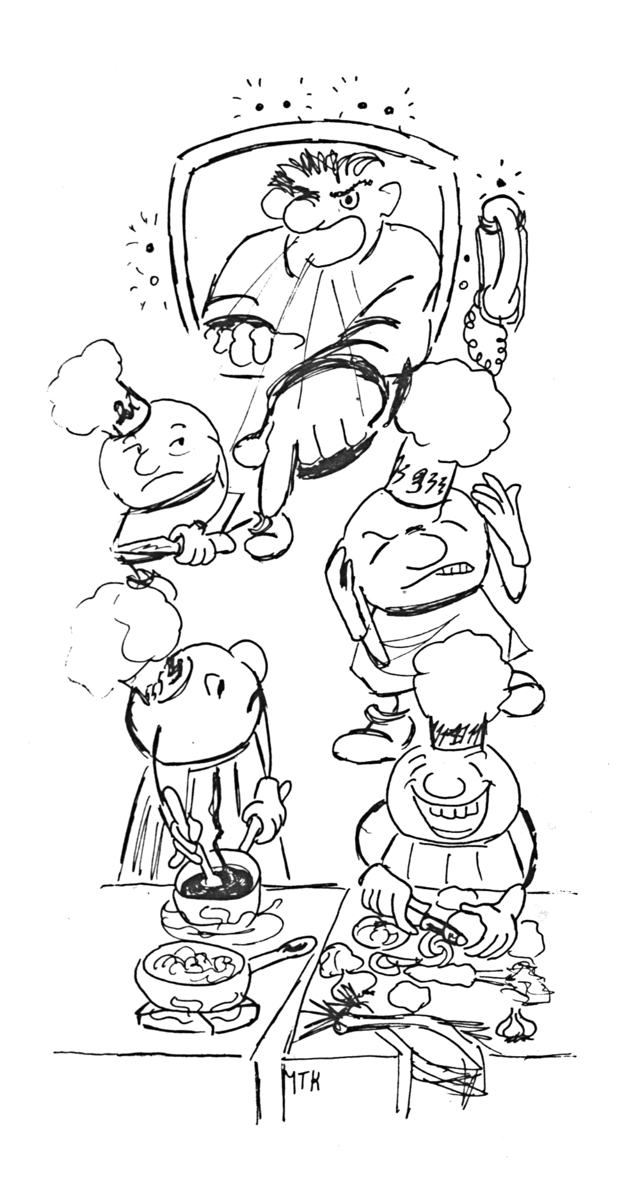
Nous venons de traiter - ou de maltraiter..- de l'information traitée : *les programmes de l'utilisateur.*
Nous allons aborder maintenant, avec l'information traitante, *les programmes de la machine.*

Les programmes de la Machine

N'allez surtout pas croire que l'utilisateur a ses programmes et la machine les siens propres, chacun travaillant dans son coin . . .
Non, les programmes de la machine ont également été écrits par ceux-là même qui doivent l'utiliser, ou la faire utiliser.

Outre qu'ils vont permettre l'exploitation de l'ordinateur, ces *programmes machine* vont également aider l'utilisateur en le délivrant des tâches fastidieuses telles que la gestion de la mémoire disponible, la mise en œuvre et le contrôle des organes d'entrée/sortie, l'affectation des ordres de priorité, etc . . .

Une grande partie de ces tâches est effectuée par un programme très sophistiqué, fourni par le constructeur, appelé *superviseur*. C'est un véritable chef d'orchestre qui règne en maître sur la machine et son exploitation grâce à une équipe d'intervention efficace et rapide : *les interruptions.*


MTK

Le superviseur, ce grand inconnu

Maintenant que notre programme est écrit, il faut l'introduire dans la machine, puis l'exécuter. Ces opérations doivent être effectuées par un programme spécial qui est livré en même temps que l'ordinateur et fait partie intégrante de la machine.

Ce programme est écrit avec les mêmes instructions que les programmes de l'utilisateur. Seulement il est d'une telle complexité que sa mise au point nécessite plusieurs années de travail, et l'utilisateur de l'ordinateur ne peut se permettre de le créer lui-même. En fait, c'est presque une partie de la machine, et ses performances sont aussi importantes que celles de l'ordinateur qu'il accompagne.

Il effectue des traitements généraux de gestion de la machine et des programmes de l'utilisateur, simplifiant beaucoup le travail de ce dernier. C'est pourquoi ce programme s'appelle *le superviseur.*

L'omniprésence du superviseur

Il intervient à tout moment, aussi bien à la création d'un programme de l'utilisateur, qu'au cours de son exécution. Lors de la création d'un nouveau programme, le superviseur est là pour pouvoir lire ce nouveau programme - qui, par exemple, est contenu dans un paquet de cartes perforées - puis le faire compiler, enfin enregistrer et répertorier le résultat sur une bande ou un disque magnétique. Bien sûr, il sera capable, au moment où ce sera nécessaire, de consulter son répertoire, et de retrouver le programme qu'il a lui-même enregistré.

Le superviseur surveille le déroulement d'un travail et enchaîne les travaux les uns aux autres. Pour chaque travail il est capable de retrouver sur un disque ou une bande, à quel emplacement se situe le programme qui doit suivre, et copier le programme dans la mémoire centrale. Le superviseur occupe les premières positions de la mémoire, et notre programme occupe les positions suivantes. Les deux programmes sont simultanément en mémoire. Par une instruction

de débranchement, vers la première instruction de notre programme, le superviseur lui donne le contrôle et lui laisse toutes les possibilités de l'ordinateur. En fin de travail, symétriquement, notre programme exécute une instruction de débranchement vers le superviseur et lui redonne le contrôle. Le superviseur sélecte alors le programme suivant, et recommence.

La connivence que le superviseur peut établir avec l'ordinateur.

Le superviseur, comme on le sait déjà, est un programme utilisant les mêmes instructions que les programmes que nous écrivons. Cependant, l'ordinateur est tel qu'il établit une «connivence» avec le superviseur. Quand certains évènements se produisent, l'ordinateur interrompt les traitements qu'il est en train d'effectuer, puis place à une adresse prédéterminée de la mémoire un code indiquant la nature de l'interruption, ainsi que l'instruction qu'il exécutait. Puis d'une façon automatique - c'est-à-dire non programmée -, il se débranche vers une instruction du superviseur située, elle aussi, à une adresse prédéterminée de la mémoire. Ces interruptions sont provoquées par des conditions anormales qui peuvent troubler le déroulement prévu de notre programme : erreur du matériel lui-même, erreur dans le déroulement du programme. Grâce à ce dispositif le superviseur, qui est inactif pendant le déroulement des programmes de l'utilisateur, est appelé par l'ordinateur lui-même pour faire face à des évènements imprévus.

L'interruption : un abandon provisoire du travail en cours

Ce mécanisme fondamental de l'interruption est la clé du fonctionnement du superviseur : l'ordinateur ne connaît que l'instruction qu'il doit exécuter, ainsi que celle qui doit suivre. Il se consacre à un seul programme qui a le contrôle complet de la machine. Par ces interruptions, l'ordinateur peut donner le contrôle au superviseur, qui saura ensuite le rendre au programme interrompu.


commandes



Une interruption peut être provoquée par exemple par une erreur dans la mémoire centrale, dans la zone où est situé le programme. Le superviseur enregistre tout d'abord cette erreur, afin que les ingénieurs qui entretiennent l'ordinateur soient avertis et puissent changer les circuits défaillants. Ensuite le superviseur essaye de corriger cette erreur. Ainsi, s'il s'avère que l'erreur peut être corrigée, le superviseur donne à nouveau le contrôle au programme de l'utilisateur.

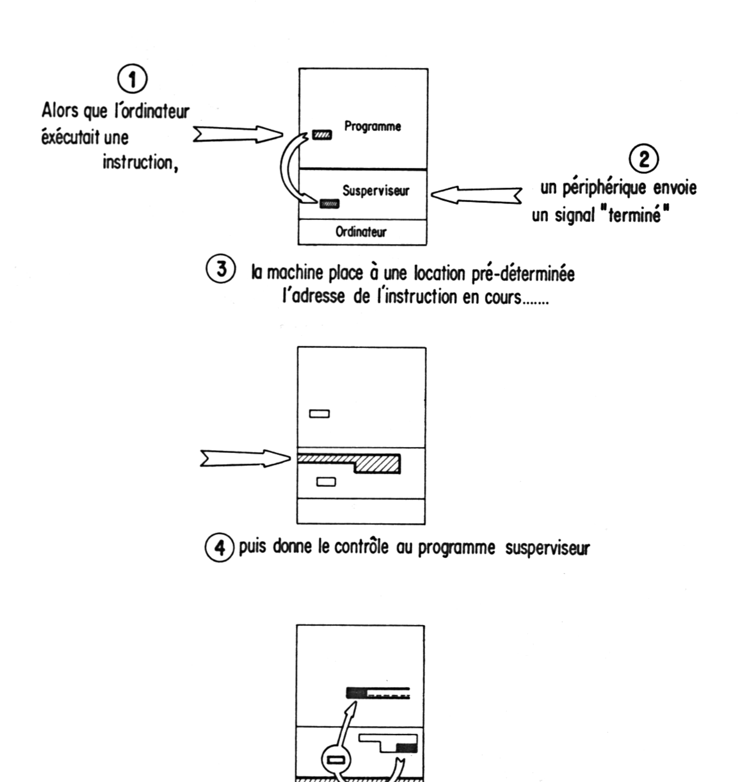


Fig. 1. Déroulement d'une interruption.

L'interruption : Comment traiter un cas non prévu.

Notre programme peut de même comporter une erreur ; par exemple, nous pouvons, par suite d'une erreur de programmation, être amenés à demander une division par zéro, ou vouloir avoir accès à une position de mémoire en dehors de ses limites. Lorsque nous utilisons une calculatrice de poche de telles conditions interdisent tout autre calcul.

L'imprévu irréparable intervenant dans les gros ordinateurs...

Il n'est pas souhaitable que l'ordinateur s'arrête complètement lorsque de telles situations se produisent. C'est pourquoi l'ordinateur donne le contrôle au superviseur quand des erreurs de cet ordre apparaissent. En général le superviseur prend une copie de la mémoire où sont situés le programme et ses données, et imprime ce que l'on appelle un «dump» (mot anglais peu écologique signifiant un tas d'ordures et qui représente le contenu de la mémoire, exprimé par plusieurs millions de chiffres alignés sur des dizaines sinon des centaines de pages !). Puis, il enchaîne avec le programme suivant, dans la mesure où ce dernier n'utilise pas les résultats du programme qui vient d'être interrompu. Le programmeur doit ensuite étudier la liste du contenu de la mémoire pour savoir pourquoi cette erreur s'est produite, afin de corriger son programme, de le compiler à nouveau, le répertorier, et enfin de le réexécuter.

... et les petits

Il se peut que la taille du calculateur soit telle qu'il devient possible d'interrompre le fonctionnement de la machine dès qu'une erreur apparaît dans le programme. Dans ces conditions, le superviseur indique à l'opérateur la nature de l'erreur. L'opérateur, devant son clavier, peut alors étudier le contenu de certaines positions de la mémoire, changer certaines valeurs dans cette mémoire, que ce soit des valeurs de variables, ou des instructions du programme. L'opérateur



peut ainsi corriger l'erreur qu'il a commise dans la programmation, ou l'erreur qui apparaît dans les données elles-mêmes (par exemple, si une date est le 65 / 27 / 1850), puis demander la poursuite de l'exécution du programme.

Le superviseur, maître et serviteur du programme de l'utilisateur.

En plus de la surveillance qu'il exerce pendant le déroulement de notre programme, le superviseur est à sa disposition pour lui rendre des services divers. Il peut lui indiquer l'heure et la date, effectuer des calculs qui sont fréquemment utilisés : calculer le sinus d'un angle, extraire une racine carrée ou trouver un logarithme. En effet, les ordinateurs n'ont pas la possibilité d'effectuer directement de tels calculs ; ceux-ci sont donc confiés à des programmes que le constructeur a écrit lui-même. On pourrait s'étonner de ce que les calculatrices de poche, de petites dimensions et de prix modique, puissent effectuer ces calculs compliqués. En fait, l'explication est simple : ces calculatrices de poches n'effectuent que les quatre opérations de base, mais les programmes de calculs de fonctions trigonométriques, ou de taux d'intérêt sont enregistrés dans une mémoire, incluse dans le boîtier. Tout ce passe donc dans une telle calculatrice comme dans un ordinateur. Cependant, la mémoire centrale de l'ordinateur est une mémoire vive où il est possible d'écrire une information, et de la relire ensuite, alors que la mémoire de la calculatrice est une mémoire morte, écrite une fois pour toutes, lors de sa fabrication, et qui ne peut qu'être lue ensuite.

Un vrai chien de garde.

Bien sûr, à la fin de chaque travail, le superviseur calcule le temps passé pour ce programme, et l'enregistre pour qu'il lui soit possible, à la fin de la journée, de récapituler les travaux qui ont été effectués, et les incidents qui ont pu se produire. Le superviseur, ensemble de programmes écrits par le constructeur de la machine, est le complément du matériel lui-même. Il accueille les programmes que nous voulons écrire.

UTILISONS LES PERIPHERIQUES

Données et résultats, entrez et sortez ... Mais suivez «Bison Fûté» sur les sentiers de l'informatique.

Les programmes que nous utilisons

Les programmes que nous utilisons effectuent, bien sûr, des traitements sur les données, puis ils impriment, ou enregistrent les résultats sur un support externe. A cet effet les langages de programmation comportent des ordres tels que LIRE ou ECRIRE. Chaque appel à un ordre LIRE ou ECRIRE déclenche une opération d'entrée/sortie.

Une opération n'est pas toujours une addition

Une opération d'entrée/sortie (E/S) peut correspondre à la lecture de l'ensemble des informations contenues dans une carte perforée. Elle peut entraîner, aussi, l'écriture sur l'imprimante d'une ligne de texte complète. Chaque opération porte sur une chaîne de caractères, dont la longueur dépend de l'unité périphérique concernée. Par exemple, la lecture d'une carte perforée doit porter sur 80 caractères, chaque caractère correspondant à une colonne de la carte. Si un programme ne demande la lecture que de 50 caractères, la carte est lue en entier, et les 30 caractères situés à la fin de la carte sont perdus.

Une opération d'entrée-sortie commande un périphérique

Une opération d'entrée/sortie entraîne le déclenchement de la mécanique du périphérique, la lecture d'une chaîne de



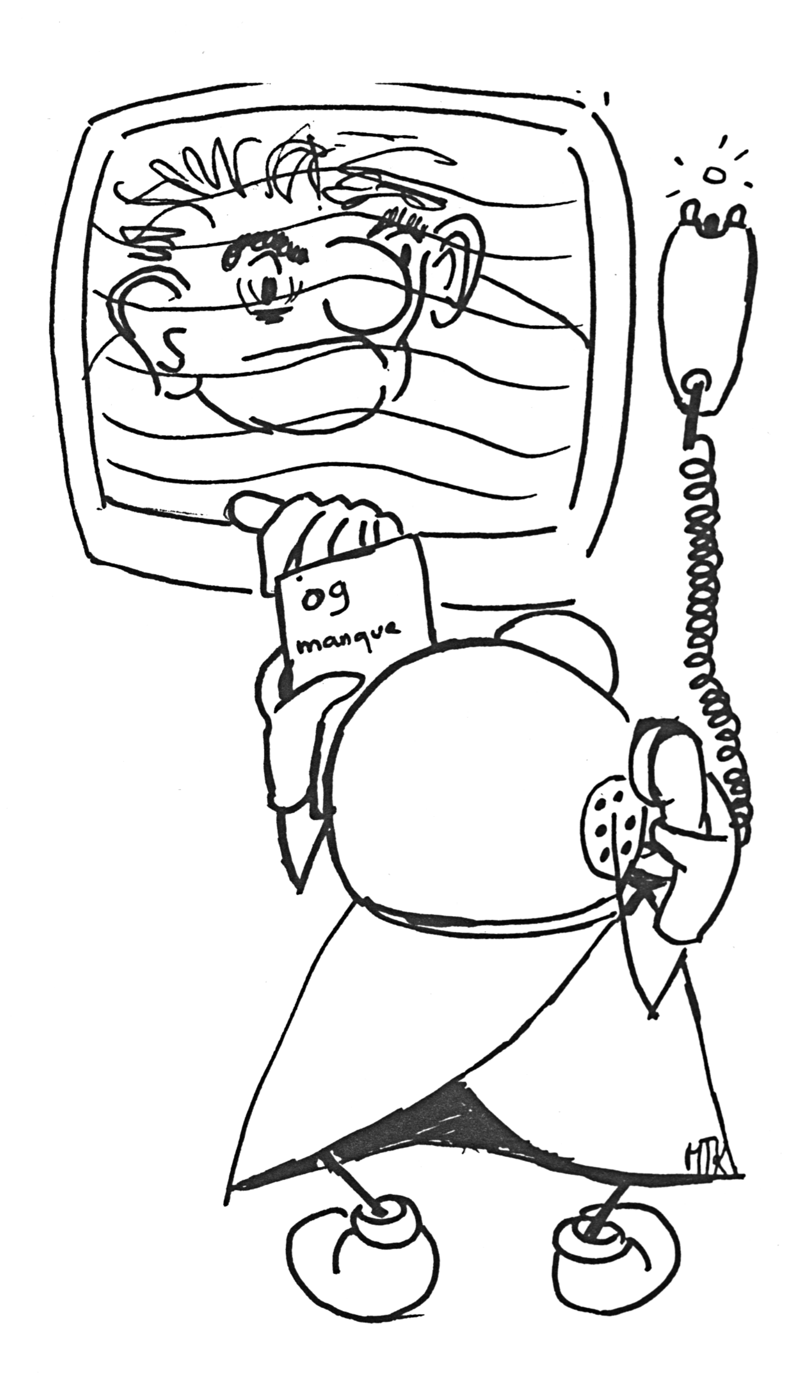
caractères, puis l'arrêt du périphérique. Cette chaîne de caractères s'appelle *enregistrement*. Ainsi, une bande magnétique, elle aussi, est découpée en enregistrements ; elle peut en contenir plusieurs milliers. Dès qu'une opération d'entrée/sortie demande la lecture d'une bande, le dérouleur entraîne la bande, lit l'enregistrement qui se présente, puis arrête le défilement de la bande. D'ailleurs, les enregistrements sont séparés par un espace de quelques centimètres, afin que la bande puisse accélérer et atteindre sa vitesse normale, avant que le début de l'enregistrement atteigne les têtes de lecture. A la fin de la lecture, il faut que la bande soit stoppée rapidement. A la différence d'un enregistrement musical, qui occupe plusieurs dizaines de mètres de bande magnétique, et que l'on peut démarrer et arrêter où l'on veut, une bande d'ordinateur contient un très grand nombre d'enregistrements très courts, chacun d'eux étant lu complètement.

Encore le superviseur . . .

Ces opérations d'entrée/sortie sont demandées par le programme de l'utilisateur. Dans la mesure où leur exécution entraîne une programmation complexe, ce travail, lui aussi, est confié au superviseur. Le programme doit alors appeler le superviseur et lui indiquer les caractéristiques de l'opération à effectuer : périphérique sur lequel effectuer l'opération, nature de l'opération (lecture, écriture, rembobinage de la bande magnétique), contrôle (la bande est-elle montée sur le lecteur ?), adresse en mémoire de l'enregistrement à lire/écrire, et longueur de cet enregistrement.

. . . qui contrôle des évènements imprévus.

«Lire la bande magnétique sur le 2ème dérouleur, l'enregistrement contient 200 caractères, le placer en mémoire à partir de l'adresse 5200 jusqu'à l'adresse 5399». Le superviseur contrôle tout d'abord l'existence du périphérique demandé, sa mise sous tension, l'interroge et détermine s'il est prêt à travailler (le papier est-il en place, reste-t'il encore des cartes à lire . . .), si l'opération précédente est bien terminée etc . . . Enfin, il transmet la commande et contrôle encore son bon déroulement. Si une condition imprévue


og
manque

se présente, le superviseur la traite. Par exemple, il envoie un message à l'opérateur, lui demandant de changer la bande magnétique, lui indiquant qu'une carte s'est coincée dans le lecteur de cartes (cette situation, hélas fréquente, s'appelle un «bourrage» du lecteur de cartes perforées).

Lorsque la panne est réparée, le superviseur contrôle, bien sûr, que tout est maintenant correct, puis lance l'opération demandée. Tous ces évènements sont pris en compte par le superviseur, et le programme de l'utilisateur n'a pas à les prévoir, ni à les contrôler.

Le superviseur travaille différemment avec chaque périphérique

Alors que le programme de l'utilisateur commande de la même façon la lecture d'une carte perforée ou la lecture d'un enregistrement sur une bande magnétique, le superviseur doit effectuer les opérations spécifiques à ces matériels : par exemple, si une erreur intervient durant la lecture d'une carte, le superviseur doit demander à l'opérateur de corriger

P • préparer une facture
P • Demander son impression, au superviseur
  S • Contrôler l'imprimante
  S • envoyer l'ordre d'impression
  S • retourner le contrôle au programme de facturation
P • préparer une au . . . INTERRUPTION
    O • prendre note de l'instruction exécutée
    O • appeler le superviseur
  S • contrôler la bonne fin de l'opération
  S • rendre l'imprimante à nouveau disponible
  S • retourner le contrôle au programme de facturation
P • (suite) . . . tre facture
P • (continuer ses travaux)

(P) Ce que fait le programme
(S) Ce que fait le superviseur
(O) . . et l'ordinateur, en réponse à l'interruption

Une opération d'entrée/sortie



la carte qui vient de tomber sur le paquet de cartes lues et de la replacer sous le paquet de carte à lire. Si cette erreur intervient sur une bande magnétique, le superviseur peut commander un saut arrière, puis relire la bande. Au bout de quelques essais infructueux, le superviseur ne peut que demander à l'opérateur s'il peut sauter cet enregistrement défectueux ou s'il doit interrompre le programme en cours.

Encore les interruptions

Pendant le temps d'une opération d'entrée/sortie, l'ordinateur peut exécuter plusieurs milliers d'instructions. Il serait dommage que le superviseur attende la fin de l'opération en laissant le calculateur inactif avant de retourner le contrôle au programme de l'utilisateur : le superviseur, quand il reçoit du programme la demande d'entrée/sortie, effectue les contrôles préliminaires, lance l'opération d'entrée/sortie, puis retourne le contrôle au programme de l'utilisateur. A la fin de l'opération, le périphérique interrompt le calculateur en lui envoyant une interruption. Le calculateur indique alors à des adresses prédéterminées de la mémoire la nature de l'interruption, l'adresse de la prochaine instruction qu'il devait exécuter, puis exécute une instruction située à une adresse prédéterminée, dans le superviseur. Ce mécanisme de l'interruption nous est déjà connu et il se répète identiquement quel que soit l'évènement qui la provoque.

Le superviseur, organisateur efficace

Dès la fin de l'opération d'entrée/sortie, alors que le programme avait continué son traitement, le superviseur se voit à nouveau confier le contrôle et il examine les conditions dans lesquelles s'est effectuée cette opération. Quand tout est bien terminé, d'après les informations placées en mémoire au moment de l'interruption, le superviseur redonne le contrôle au programme de l'utilisateur, qui continue alors son travail. Dans ces conditions, il se peut que plusieurs opérations soient simultanément en cours. Le superviseur sait reconnaître celles qui sont en cours et fait attendre le programme de l'utilisateur qui demande une opération sur un périphérique


B . O . F

encore occupé par l'opération précédente. Ainsi tous les périphériques peuvent fonctionner simultanément, bien qu'un seul programme soit dans la machine.

Ces opérations d'entrée/sortie entraînent toujours la lecture ou l'écriture de l'enregistrement suivant. Une fois qu'une carte perforée est lue, concrètement, elle a été prélevée en-dessous du paquet de cartes à lire, puis éjectée sur le dessus du paquet de cartes déjà lues. Chaque demande de lecture provoque donc la manipulation d'une carte, et, bien sûr, l'exploration des perforations qu'elle contient, la conversion des informations qui sont ensuite transférées dans la mémoire centrale. Il n'est plus possible de revenir en arrière pour lire à nouveau une carte dont le programme n'a pas tenu compte, à moins, nous l'avons vu, que l'opérateur n'intervienne directement.

Savoir utiliser les possibilités des disques magnétiques

Contrairement aux opérations mettant en jeu cartes, papier ou bande magnétique, les lectures et écritures sur disques peuvent être effectuées dans n'importe quel ordre : chaque commande de lecture ou d'écriture est précédée par une autre commande, localisant complètement l'enregistrement. Dans ces conditions, un disque peut contenir plusieurs collections d'enregistrements, indépendantes. Cependant, en tête du disque, une table indique le contenu du disque. Le superviseur utilise ces tables pour savoir que la collection d'enregistrements donnant le prix des pièces détachées se trouve dans le troisième quart du disque. La demande de lecture du premier enregistrement de cette collection sera transformée par le superviseur de telle sorte que les têtes de lecture soient déplacées vers le début de cette collection, avant que cet enregistrement soit lu. Immédiatement après, le superviseur devra peut-être déplacer les têtes de lecture vers un autre emplacement pour écrire un enregistrement faisant partie d'une autre collection. Le disque magnétique est un support commode qui peut contenir de nombreuses collections d'enregistrements, et qui permet une lecture rapide de n'importe lequel des enregistrements existants.

PARTAGEONS NOTRE ORDINATEUR

Jusqu'à présent nous nous sommes considérés, avec le superviseur bien sûr, comme les seuls propriétaires du calculateur que nous utilisions, hélas les temps changent ...

L'Informatique : un jeu d'équipe

Cependant, même pas très grand, un ordinateur est un outil coûteux et il n'est pas question d'offrir une telle machine à chaque utilisateur. Evidemment on peut envisager de faire la queue et d'attendre son tour , mais les journés d'ordinateur ne sont pas infiniment longues . . . Même en été.

Alors, on va se retourner une fois encore vers le superviseur et l'on va utiliser l'ordinateur, chacun son tour effectivement, mais à sa vitesse à lui, ce qui va tout changer.

Ces techniques de partage des ressources informatiques qui ont pour nom *multiprogrammation* et *temps partagé* sont à l'origine du développement si rapide de l'informatique.

Chacun va pouvoir utiliser à volonté des machines de plus en plus puissantes en ne payant que les coûts inhérents à ses seuls travaux, tout en y ayant accès aux moments de son choix.

Tout petits, petits et gros

Nous ne pouvons discourir du fonctionnement des ordinateurs, de leurs programmes et superviseur sans décrire succin-

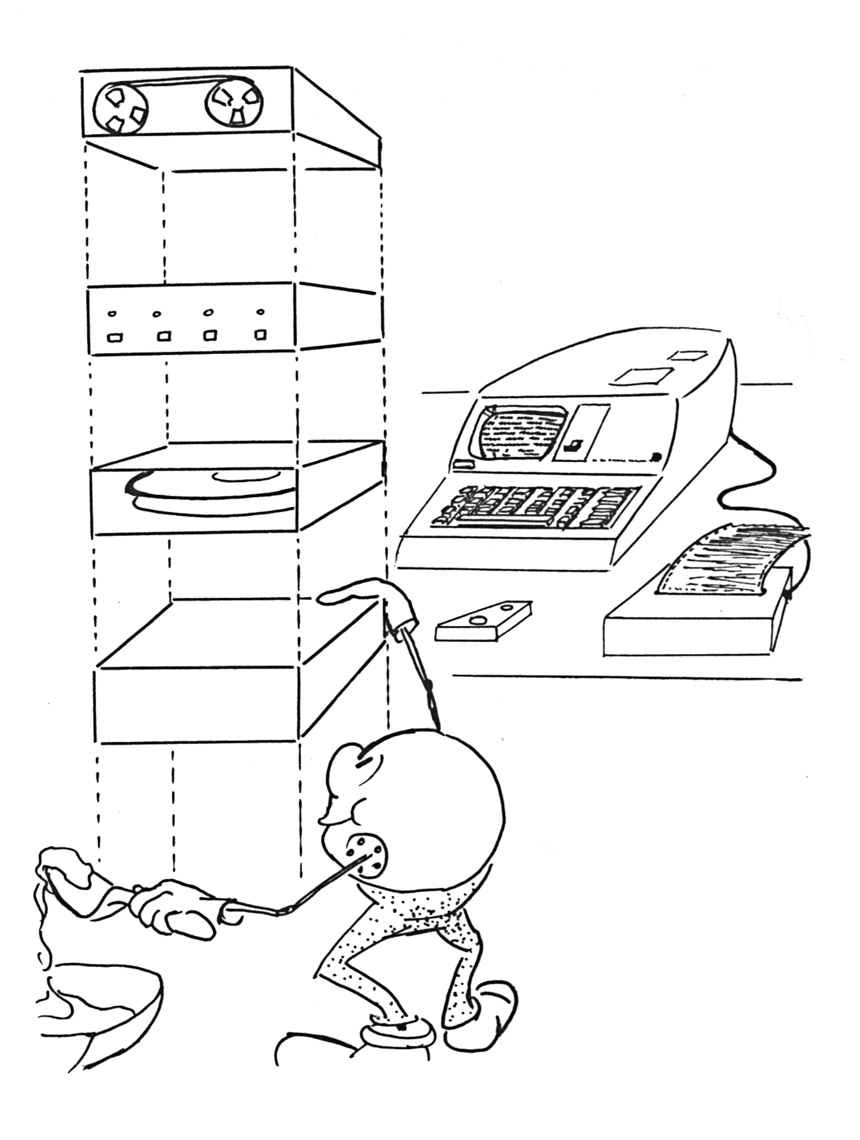
tement les principales catégories de machines. Le plus simple est de les classer selon leur taille, depuis le micro-ordinateur - qui se pose sur une table - jusqu'aux gros ordinateurs, qui occupent de vastes salles.

Le micro-ordinateur sur une table

Le micro-ordinateur, posé sur un bureau, dispose d'une mémoire centrale dont la taille varie de 2000 à 60 000 mots (on dit aussi 60 K). Elle dispose d'un clavier et d'un écran pour communiquer avec son opérateur. Au dos de l'appareil, une simple prise de courant permet de connecter une machine à écrire, frappant jusqu'à 100 caractères par seconde. Enfin, il accepte des cassettes sur lesquelles peuvent être enregistrés 100 000 ou 200 000 caractères, ou des disques magnétiques rigides ou souples contenant 90 000 à 5 000 000 caractères. Cet ordinateur possède un superviseur enregistré dans une mémoire inaltérable, identique à celle que nous trouvons dans les calculatrices de poche ainsi, dès que la machine est sous tension, elle est prête à fonctionner, le superviseur étant déjà en veille. En général elle accepte un seul langage de programmation qui peut être le BASIC (dérivé du FORTRAN) ou l'APL. Son traducteur est contenu, lui aussi, dans la mémoire inaltérable. La taille de cette mémoire peut dépasser 150 000 caractères (alors que la mémoire centrale, laissée à notre programme, est bien plus petite).

Le micro-ordinateur : une super calculatrice de poche

Ces traducteurs de langage sont particuliers : au lieu de traduire un programme, comme nous l'avons déjà expliqué, et de produire un second programme, exécuté plus tard, ils jouent le rôle d'un interprète : ils transforment, un par un, les ordres donnés par le programmeur, et les exécutent immédiatement. Tout se passe comme si le calculateur comprenait directement ce langage. L'utilisateur est ainsi en liaison directe avec l'ordinateur ; en cas d'erreur dans le programme, l'utilisateur n'a pas besoin de consulter la mémoire, position par position, mais interroge les variables elles-mêmes, par leur nom.



Ainsi au lieu de se demander où se trouve, dans la mémoire, la valeur du taux de TVA, afin d'étudier la mémoire à cette adresse pour contrôler la valeur de ce taux, il interroge directement au clavier la variable TAUXTVA. De même, il sait à quelle ligne du programme, rédigé en langage de programmation, est intervenue l'erreur. Cette forme de traducteur de langage, appelé interprète, simplifie beaucoup la mise au point des programmes de l'utilisateur.

Ces micro-ordinateurs, par leur faible puissance, par leur faible prix, leur facilité d'utilisation, sont mis en oeuvre par une seule personne, et sont utilisés pour traiter un seul problème : établissement de factures, paye de 100 à 200 personnes, calculs de génie civil etc...

Du micro au mini

Ces micro-ordinateurs sont compacts, prêts à l'emploi. Leurs constituants comme leur superviseur sont prédéterminés et ne peuvent être modifiés. Chaque modèle est conçu en fonction de certaines applications. Par opposition à ces micro-ordinateurs, les mini-ordinateurs sont des machines dont l'électronique est adaptable aux besoins spécifiques de l'utilisateur, sont aussi plus rapides, mais occupent maintenant un plus grand volume relatif ; cela peut être une pièce particulière.

L'ordinateur sur mesure

L'unité centrale occupe maintenant un meuble de la dimension d'une armoire. Elle est composée de cartes contenant les circuits électroniques. Ces cartes, à ne pas confondre avec les cartes perforées, sont reliées entre elles par des connecteurs et des câbles. Chaque carte contient un organe spécifique de la machine. Une carte peut contenir l'unité centrale (ou une partie de l'unité centrale), une autre la mémoire centrale ou un organe de liaison avec un périphérique. Selon ses besoins l'utilisateur constitue son ordinateur en choisissant des cartes. Par exemple, il choisira une unité centrale occupant une carte entière, 2 cartes de mémoire, une carte de liaison avec disques, une carte de liaison avec l'imprimante. Il choisira

ensuite une armoire capable de contenir les cartes dont il a besoin : il peut avoir le choix entre plusieurs unités centrales, de puissances différentes. Les cartes de mémoire peuvent totaliser jusqu'à 1 000 000 de caractères. Il peut aussi connecter des unités particulières, que l'on ne rencontre que dans cette catégorie d'ordinateurs, et qui sont en liaison directe avec l'environnement industriel de l'ordinateur.

Des périphériques déjà très rapides

Une imprimante, pouvant imprimer 200 lignes par minute, une unité de disques contenant 50 000 000 de caractères ont chacune l'encombrement d'un petit meuble. Les dérouleurs de bande acceptent des bandes magnétiques contenant jusqu'à 20 000 000 de caractères. Bien sûr, la capacité de stockage des périphériques, leur temps d'accès, et la puissance de calcul de l'unité centrale doivent être harmonisés, sous peine de sous-utilisation de l'unité la plus rapide : un micro-ordinateur, sur lequel on brancherait - si tant est que ce soit possible - des périphériques de mini ou de gros ordinateurs, coûterait bien plus cher mais ne rendrait pas plus de services.

Dans une usine, il est irremplaçable

Les mini-ordinateurs peuvent être reliés à des périphériques inhabituels, lorsqu'ils sont placés dans une usine. Les organes d'entrée de données peuvent être, alors, des capteurs de vitesse, de température, de pression, de débit, de poids, des contacts électriques, des compteurs. Les organes de sortie sont des commandes diverses : mise en marche ou arrêt ; modification de la vitesse d'un moteur ; commande d'une vanne ; allumage d'une lampe témoin. Ces entrées/sorties, dites industrielles, permettent le contrôle à la seconde près, du fonctionnement de certaines parties d'une usine, d'un trafic ferroviaire...

Le superviseur et les compilateurs sont placés en mémoire centrale pendant le fonctionnement de l'ordinateur. Voici pourquoi, lors de la mise sous tension, il faut opérer des manipulations mystérieuses, qui amènent le superviseur en mémoire, et le rendent apte à accueillir les programmes de l'uti-

lisateur. Le superviseur communique avec l'opérateur par l'intermédiaire d'une console, sorte de machine à écrire connectée à l'unité centrale, en communication directe avec le superviseur.

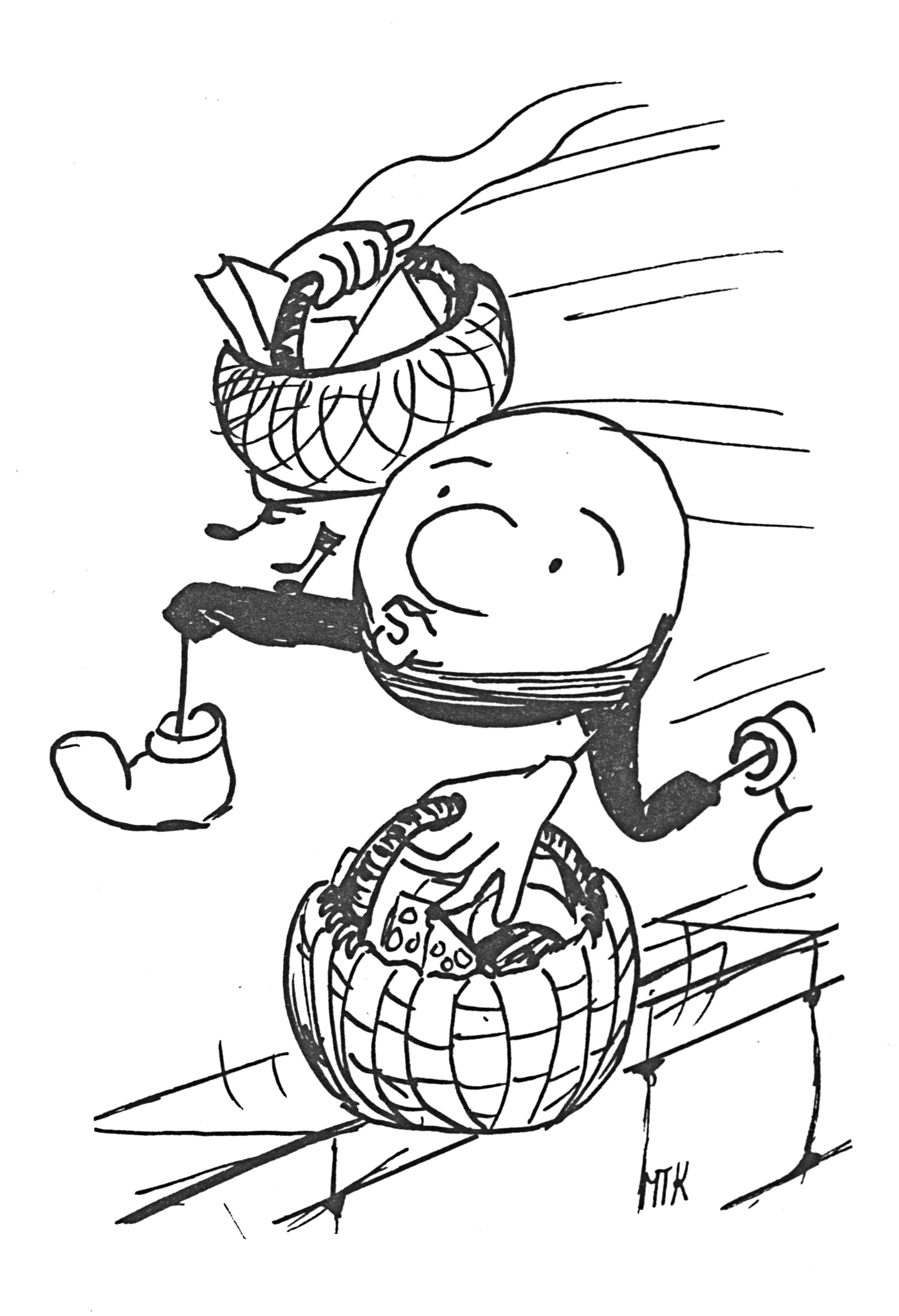
Cette machine effectue divers travaux, les uns après les autres, qui sont demandés par de nombreuses personnes, ou services de l'entreprise. En plus de ces travaux, effectués en-dehors de la présence de leurs demandeurs, en temps différé (par opposition au temps réel, que nous évoquerons plus loin), le calculateur peut supporter un autre programme, en liaison directe avec les entrées/sorties industrielles. Ce programme doit alors répondre immédiatement à toute demande extérieure. On dit alors qu'il fonctionne en temps réel.

Les gros ordinateurs, dans de vastes salles

Enfin, les gros ordinateurs occupent une salle spécialement aménagée avec une climatisation, un faux plancher qui dissimule les très nombreux câbles de liaison entre les unités, et distribue l'air frais sous chaque unité. Ces salles ont une surface comprise entre quelques dizaines et quelques centaines de mètres carrés. L'ordinateur se présente sous la forme de plusieurs meubles, un meuble pour l'unité centrale et la mémoire, des meubles pour les unités de liaison entre l'unité centrale et la mémoire, des meubles pour les unités de liaisons entre l'unité centrale et les périphériques, des contrôleurs de périphériques, les périphériques eux-mêmes, des pupitres de commande, de répartition etc...

Des périphériques de plus en plus rapides

La mémoire, maintenant, peut contenir plusieurs millions de caractères, les lecteurs de bandes en grand nombre - il peut y en avoir plus de vingt - et de grande capacité : une bande peut contenir jusqu'à 60 000 000 de caractères. Quant aux lecteurs de disques magnétiques, leur capacité totale se mesure en milliards d'octets, leur temps d'accès en millisecondes. Les imprimantes, qui peuvent être nombreuses, impriment 1 000 à 12 000 lignes par minutes.



Ces machines sont entourées d'une équipe de spécialistes, qui contrôlent son fonctionnement, alimentent les périphériques en papier, cartes ou bandes magnétiques, gèrent la bandothèque, qui comprend plusieurs milliers de bandes magnétiques.

Des superviseurs de plus en plus astucieux

Bien sûr, ces machines ont une puissance telle qu'elles peuvent exécuter plusieurs programmes simultanément, effectuer des opérations très importantes, telle que la paye de dizaines de milliers d'employés. En plus de ces travaux effectués en temps différé, un tel ordinateur peut être en communication simultanément avec de nombreux interlocuteurs, qui vont introduire des informations nouvelles, enregistrées sur disque magnétique, interroger les informations déjà traitées (quel est l'état des stocks aujourd'hui ?), ou introduire de nouveaux programmes.

Le superviseur doit non seulement contrôler individuellement chaque programme, mais aussi faire en sorte que ces programmes puissent cohabiter dans la même mémoire, et travailler.

Revenons sur terre

Nous avons décrit succintement une caricature de modèles d'ordinateurs. Très souvent, nous avons donné des indications limites : tous les gros ordinateurs n'ont pas 8 millions d'octets de mémoire centrale. Nous avons cherché, simplement, à connaître le fonctionnement, la constitution de la machine et de son inséparable superviseur.



LA MULTIPROGRAMMATION

Partager, d'accord ! mais partager quoi et surtout partager comment ?

Les minis et surtout les gros . . .

Les minis et surtout les gros ordinateurs exécutent souvent plusieurs programmes différents, en quasi-simultanéité. Cette possibilité repose uniquement sur la sophistiquation des systèmes superviseurs. Les programmes des utilisateurs n'ont pas à être adaptés à ce mode de fonctionnement. Tout se passe pour eux identiquement, qu'ils soient seuls dans la mémoire, à côté du superviseur, ou qu'ils partagent avec d'autres programmes l'utilisation des ressources qu'offre l'ordinateur hôte.

La multiprogrammation, juxtaposition de programmes dans la mémoire.

Cette technique, appelée multiprogrammation permet de mieux utiliser les capacités des ordinateurs puissants et . . . onéreux. Quand un programme travaille, il demande des entrées/sorties. Plus la machine est puissante, plus les temps d'attente sont importants par rapport aux temps de calcul et moins la machine travaille. Aussi, la première idée est d'utiliser les temps morts laissés par le premier programme. Ainsi, on peut placer en mémoire des programmes qui vont utiliser des périphériques différents, et qui vont mieux utiliser la capacité de calcul de l'ordinateur. De cette façon, afin de mieux rentabiliser l'unité centrale de l'ordinateur, on exploite plusieurs programmes en quasi-simultanéité. Mais le superviseur ne laisse le contrôle qu'à un seul programme à la fois. Dès que ce programme commande une opération d'entrée/

sortie, le superviseur met ce programme au repos, et donne le contrôle à un autre programme et ce plusieurs centaines de fois à la seconde. Ainsi, on a l'impression que tous les programmes travaillent simultanément.

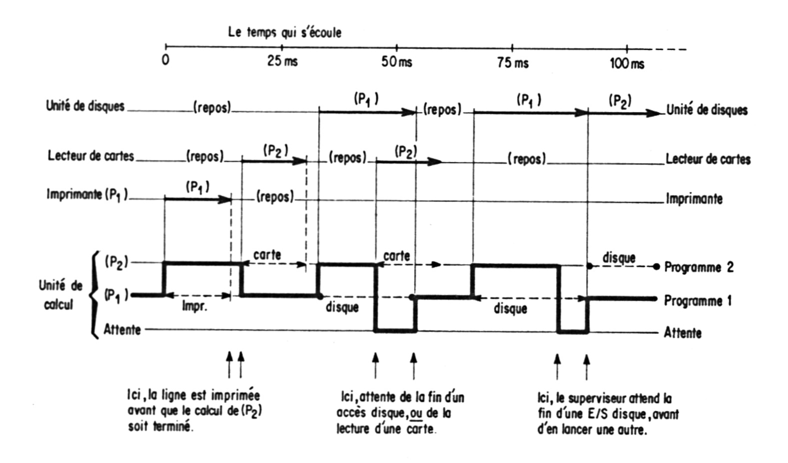


Fig. 1. Gestion des périphériques en multiprogrammation.

Ces programmes utilisent mieux les possibilités des ordinateurs

Dans les centres de calculs, certains programmes utilisent un grand nombre de périphériques, alors que d'autres programmes sont beaucoup moins voraces. La technique de multiprogrammation permet, par un choix judicieux des programmes qui vont se côtoyer dans la mémoire, un partage équilibré de ces unités périphériques. A titre d'exemple, six dérouleurs de bandes peuvent être répartis en cinq dérouleurs pour un programme, et un seul pour un autre programme. Plus tard, deux autres programmes pourront utiliser chacun trois dérouleurs. Dans ce cas, six dérouleurs sur une machine en multiprogrammation rendent autant de services que dix dérouleurs répartis sur deux machines indépendantes. La

multiprogrammation sert à partager la ressource «capacité de calcul», la ressource «périphériques», mais aussi la ressource «mémoire».

Enfin, on se doute que, par l'utilisation de cette technique de multiprogrammation, la mémoire centrale peut être utilisée plus complètement. Une zone inoccupée peut toujours contenir un programme supplémentaire. Il lui restera bien quelques secondes de temps de calcul, non utilisées par les autres programmes plus prioritaires.

La multiprogrammation, outil nécessaire au bon fonctionnement d'un gros ordinateur.

Ainsi la multiprogrammation permet d'utiliser au mieux un gros ordinateur dont la taille et la puissance sont imposées soit par le volume global des travaux à effectuer, soit par un programme particulier imposant de nombreux périphériques, ou une vaste mémoire. Cette multiprogrammation n'est pas due à un modèle particulier d'unité centrale ou à l'un de ses dispositifs. Elle est créée uniquement par le superviseur qui sait synchroniser, non seulement les périphériques, mais aussi les programmes actifs dans la mémoire.

Les nouvelles fonctions du superviseur

Il doit maintenant réaliser des tâches nouvelles, dont l'intérêt est apparu lors de la mise en œuvre de la multiprogrammation et son expérience pratique. Tout d'abord, et c'est évident, le superviseur doit savoir affecter du temps de calcul à chacun. Nous pouvons imaginer qu'il attribue une priorité à chaque programme, puis qu'il serve systématiquement le plus prioritaire. Dès que ce programme est en attente de la fin d'une opération d'Entrée/Sortie, le superviseur donne le contrôle au programme de priorité inférieure qui n'est pas lui-même en attente. A chaque interruption le superviseur recherche quel est le programme le plus prioritaire qui est en mesure de travailler.

Le superviseur réalise ici une répartition du temps de calcul entre les programmes qu'il a placés dans la mémoire. De même il doit répartir la mémoire selon les demandes



faites par les programmes eux mêmes, et attribuer à chaque programme les périphériques dont il a besoin. Mais les ressources sont limitées. La mémoire n'est pas extensible, les périphériques - hormis les disques magnétiques - ne peuvent se multiplier au gré de la demande.

Le superviseur choisit lui-même les travaux à exécuter

Pour résoudre ce problème, le superviseur enregistre des demandes de travaux. Pour chaque demande il détermine les ressources nécessaires : taille mémoire, nombre de dérou-

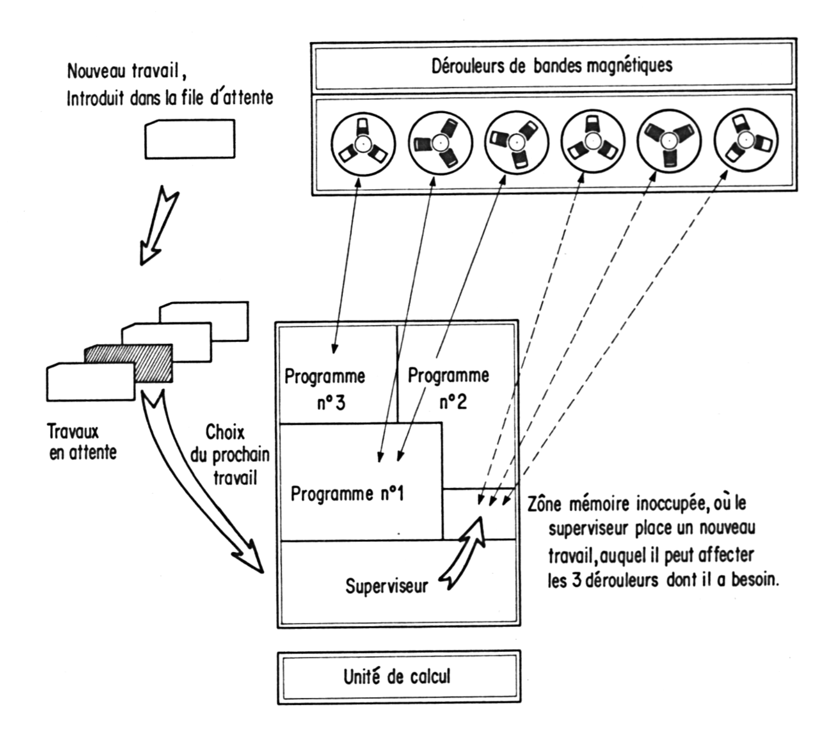


Fig. 2. Sous le règne du superviseur.



Savoir choisir ses urgences

leurs de bandes, unités spéciales, temps de calcul maximum. Pour chaque travail, le superviseur connait aussi son degré d'urgence : peut attendre une nuit, doit être exécuté au plus vite, quoi qu'il en coûte, ou bien doit être terminé dans les heures qui suivent. Lorqu'un travail se termine le superviseur peut choisir celui qui prendra sa place, parmi ceux qui sont déjà dans la file d'attente. Il choisit en fonction des urgences demandées, mais aussi selon les ressources disponibles, l'attente déjà imposée aux travaux. Il se peut aussi que le superviseur attende la fin d'un autre travail pour pouvoir lancer un travail gros consommateur de mémoire ou de périphériques. Le premier arrivé n'est pas toujours le premier servi. Avant de lancer ce travail, le superviseur lui affecte une zône en mémoire et des périphériques. Il veillera ensuite au bon respect de ces consignes.

Il ne faut pas qu'une erreur dans un programme détruise un autre programme

. Dans la mesure où plusieurs programmes se partagent la même mémoire, il faut aussi que le superviseur protège un programme contre les erreurs que peuvent commettre les autres programmes. Il ne faut pas que, par suite d'une erreur, un programme place ses propres données dans une zone de la mémoire affectée à un autre programme, et vienne détruire une autre donnée. Pour cette raison, le superviseur a la faculté d'indiquer à l'unité de calcul les zones de la mémoire qui sont utilisables par le programme qui va bientôt recevoir le contrôle. De même, le superviseur contrôle toutes les opérations d'entrée/sortie et rejette les demandes portant sur des périphériques qui ne sont pas affectés au programme ayant fait cette demande.

En règle générale chaque périphérique est affecté, à un moment donné, à un seul programme. Cette règle n'est pas respectée dans le cas des disques magnétiques, et dans le cas des périphériques «lents». Les disques magnétiques, nous le savons, peuvent contenir plusieurs collections d'enregistrements indépendantes. Ainsi le superviseur découpe le disque en tranches, chaque tranche étant affectée à un programme. Dans ces conditions un disque se présente

comme plusieurs périphériques. Chaque portion du disque étant lui même un disque, mais de plus petite taille. Le superviseur veille alors à ce qu'un programme n'aille pas écrire - ou lire - dans une portion du disque qui ne lui est pas affectée.

Le cas particulier des périphériques lents.

Les périphériques «lents» dérogent également à la règle générale. Ces périphériques sont les imprimantes, les lecteurs et perforateurs de cartes. Ces périphériques sont utilisés par la plupart des programmes mais en général, pendant un court instant. Ainsi un programme peut lire cinq cartes au début de son exécution, en lire 40 au milieu, puis en perforer cent à la fin. Il peut aussi imprimer une page de titre au début dans laquelle il récapitule les travaux qui lui sont demandés et imprimer des résultats intermédiaires de temps à autre,

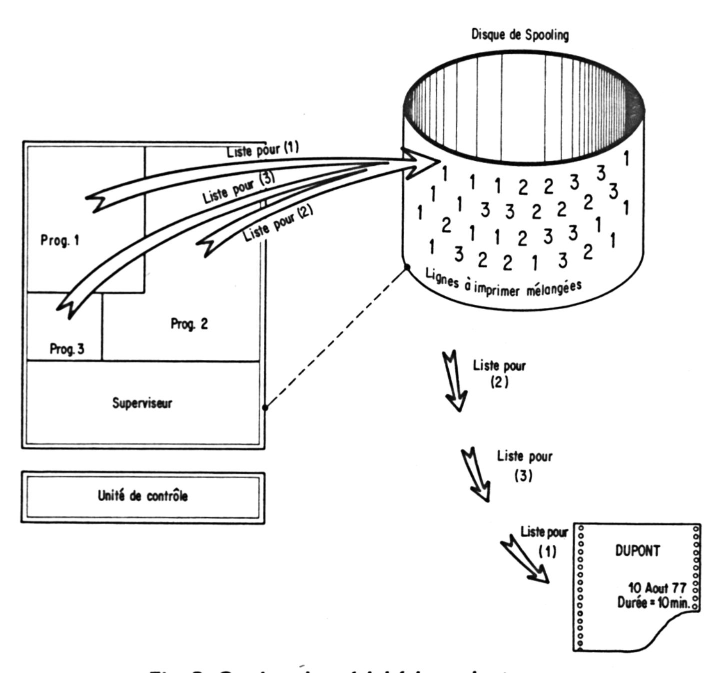


Fig. 3. Gestion des périphériques lents.



compte rendu de son activité. Si ces unités étaient traitées comme le sont les autres périphériques, il faudrait autant d'imprimantes et de lecteurs/perforateurs de cartes qu'il y a de programmes dans la mémoire : la salle en serait pleine.

Le superviseur sait regrouper les utilisations de ces unités, pour un même programme

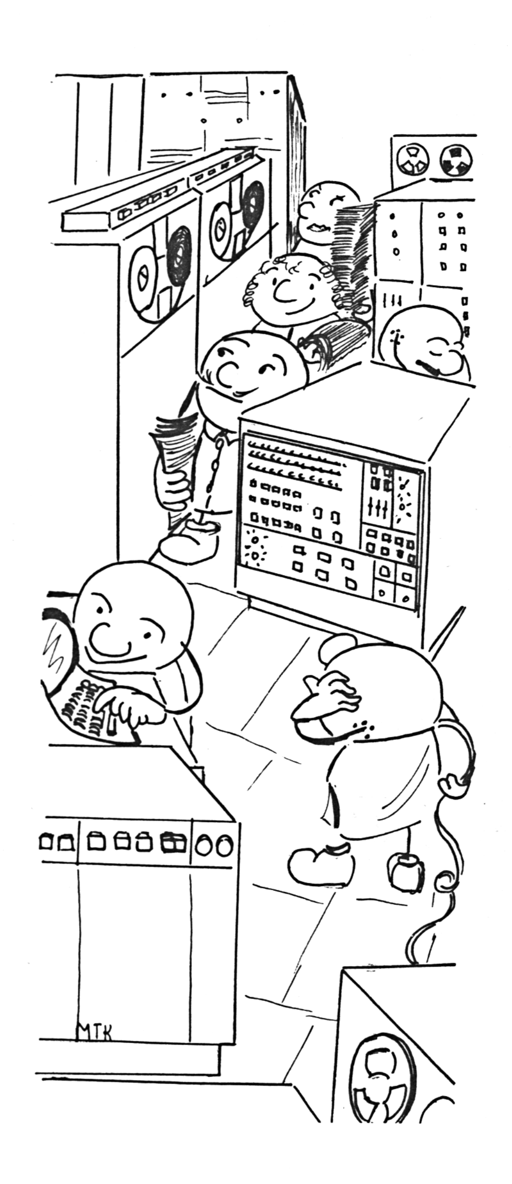
De plus ces unités - encombrantes - ne seraient utilisées que quelques instants chaque jour. Dans ces conditions le superviseur ne va jamais affecter une imprimante (ou un lecteur/perforateur de cartes) à un programme particulier. En réponse à la demande d'utilisation d'une imprimante, le superviseur enregistre la «ligne d'impression» sur disque à un emplacement qu'il gère lui-même. Lorsque le travail est terminé, le superviseur recherche, dans ses tables, une imprimante libre (ou attend qu'une imprimante soit libérée) pour imprimer en une seule fois toutes les lignes dont le programme aura demandé l'édition, et qui sont stockées sur disque. Le superviseur agit de même avec les cartes qu'il faut perforer, et celles qu'il faut lire. Dans ce dernier cas, il lit et enregistre le paquet de cartes avant le début du travail, puis restitue les informations contenues dans les cartes à mesure que les programmes demandent la «lecture de cartes perforées».

Les gros ordinateurs fonctionnent souvent de cette façon, si bien qu'une visite dans un centre de calcul montre une machine entourée de spécialistes changeant des bandes, alimentant du papier, dépouillant des milliers de pages imprimées et, ce qui parait le plus mystérieux, qui conversent avec l'ordinateur par l'intermédiaire d'une machine à écrire.

Cette fourmilière est le siège d'une intense activité. Les utilisateurs, eux, n'ont pas le droit d'accéder à ce temple. Ils s'arrêtent à un guichet et y déposent leurs paquets de cartes perforées. Chaque paquet définit complètement un travail particulier. Le résultat leur parvient quelques minutes ou quelques heures plus tard. En salle machines, on a l'impression que toutes les unités périphériques fonctionnent en même temps. On évoque un cerveau, on imagine un être multicéphale.

Nous savons maintenant qu'il n'en est rien. L'ordinateur est synchronisé par son superviseur - très perfectionné - et n'effectue qu'un seul travail à la fois, mais change très souvent de travail. Rassurons-nous : les programmes des utilisateurs - les nôtres - n'ont pas à tenir compte de la présence d'autres programmes dans la même mémoire, en même temps, utilisant les mêmes disques et la même imprimante. Seul le superviseur, de plus en plus sophistiqué, supporte la charge de la manipulation des programmes leur synchronisation, le partage des ressources de la machine.




MTK

OU L'ON S'EN PAYE UNE TRANCHE

Un ordinateur bien exploité c'est une tarte à la crème et chacun veut sa part de gateau !

La parole est à l'ordinateur

Grâce à la technique de la multiprogrammation, nous savons mieux gérer la machine et augmenter le nombre de travaux effectués dans une journée. Cette technique est assez ancienne, et depuis les temps ont changé. Les circuits électroniques sont de plus en plus miniaturisés, leurs prix ont diminué dans de larges proportions mais par contre, le coût de la programmation a augmenté. Il faut donc maintenant, quitte à gaspiller le temps de calcul - ce qui a maintenant moins d'importance - essayer de simplifier au maximum la mise en œuvre de l'ordinateur et sa programmation. Il faut rapprocher l'ordinateur de ses utilisateurs.

Le superviseur prenait ses ordres d'un seul opérateur par l'intermédiaire d'une machine à écrire située à proximité de l'unité centrale. Les travaux étaient définis par des paquets de cartes perforées. Le superviseur lisait ces paquets de cartes et, selon les indications de l'opérateur, exécutait les travaux quand il le choisissait. Tout se passait pour le mieux dans le monde de l'ordinateur : l'utilisateur ne s'en approchait pas.

Pour rendre l'ordinateur plus accessible à ses utilisateurs finaux, il faut que chacun d'eux puisse communiquer directement avec l'ordinateur - et son superviseur. Pour cela, il peut utiliser un terminal. Ce dernier se présente comme une machine à écrire automatique, reliée directement à l'ordinateur, ou branchée sur un poste téléphonique. Il faut alors



composer le numéro d'appel de l'ordinateur, attendre qu'il «décroche», avant de commencer le dialogue. (La leçon 14 explicite plus complètement le fontionnement de ce terminal et son lien avec l'ordinateur).

Le terminal en «temps réel» : l'agent de l'ordinateur auprès de l'utilisateur

Ce terminal peut être utilisé comme n'importe lequel des périphériques, sous la dépendance complète du programme d'un utilisateur. L'usager se trouvant devant le terminal ne peut que demander des traitements prédéfinis, et sur lesquels il n'a aucun pouvoir. Il peut interroger le stock de pièces détachées, en frappant au clavier un code d'appel et le numéro de la pièce en stock. Le programme lui répond alors par le nom de la pièce, son prix unitaire, et la quantité encore disponible. A son terminal, l'usager ne peut que donner un autre numéro de pièce et obtenir les mêmes informations décrivant cette nouvelle pièce. Par rapport aux méthodes que nous avons déjà citées, l'usager est déjà mieux servi : il a son renseignement en dix secondes, au lieu de le connaître le lendemain matin. Parfois le lendemain matin cette information n'est plus nécessaire, l'urgence est passée. Dix secondes au lieu d'une journée : le terminal est utilisé en temps réel. Mais l'usager ne peut toujours pas exprimer des demandes non préparées : Que se passe-t-il si ... ?

Le terminal en «temps partagé» : l'agent de l'utilisateur auprès de l'ordinateur

Il faut alors que - à partir de ce terminal - l'usager puisse aussi bien écrire des programmes que les exécuter. Chaque usager devenu utilisateur peut aussi donner des ordres au superviseur lui-même. Dans ces systèmes appelés «systèmes en temps partagé» (les anglo-saxons écrivent Time Sharing) chaque utilisateur peut créer un programme et l'enregistrer sur un disque, le compiler et l'exécuter. Il peut aussi exécuter des programmes écrits par d'autres utilisateurs, ou des spécialistes de la programmation. Il peut choisir. Sans quitter son

bureau il peut demander au superviseur l'attribution de périphériques, l'édition de listes soit sur l'imprimante rapide située en salle machines soit sur son terminal, dans son bureau après une courte attente.

Par ce moyen l'utilisateur peut avoir dans son bureau la disposition d'une forte puissance de calcul - celle du gros ordinateur - et l'accès à de nombreuses informations. Maintenant, l'utilisateur peut oser exprimer des besoins imprévus et les transformer lui-même en un programme.

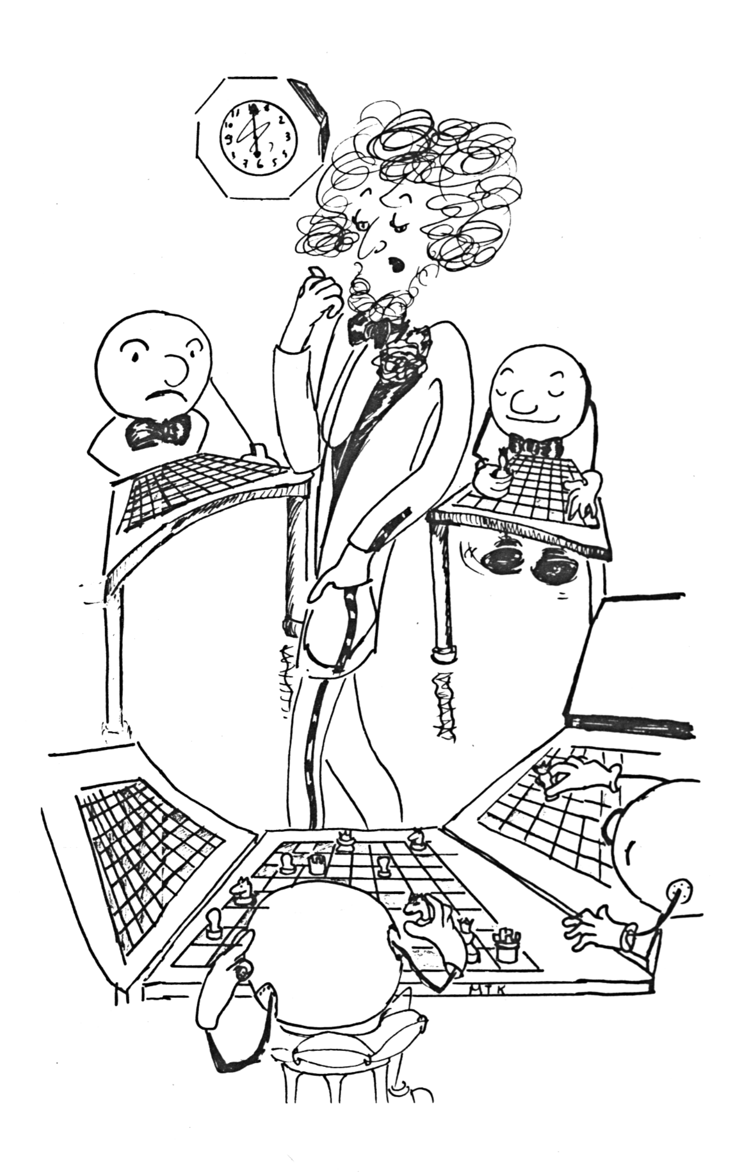
Chaque utilisateur pourra ainsi travailler quand il le voudra, et obtiendra ses résultats après un très court délai.

Les nouveaux choix que doit préparer le superviseur

Au même moment, le superviseur doit faire face à des demandes de compilation, d'exécution, pour répondre aux utilisateurs. Il n'est plus question comme en multiprogrammation de différer certains travaux pour mieux optimiser l'utilisation de l'ordinateur. Au contraire il faut servir les utilisateurs au clavier de leurs terminaux au moment où ils expriment leurs demandes. Ceci peut conduire à une moins bonne utilisation de l'ordinateur ; mais il est préférable de bien servir les utilisateurs plutôt que de bien répartir leurs travaux dans l'ordinateur.

L'importance fondamentale des secondes qui s'écoulent

Le problème posé au superviseur est maintenant très différent : chaque utilisateur établit un dialogue avec son programme ou avec le superviseur. Dans ce cas l'utilisateur attend (il réfléchit) puis envoie un message à l'ordinateur. Ce dernier effectue le traitement provoqué par ce message, puis envoie un autre message en réponse à l'utilisateur, puis attend une nouvelle réflexion de ce dernier. Par exemple.



Calcul d'impôts :

	(Calcul 0,4 secondes)	*Quel est votre revenu ?*
20 000 F	(Réglexion 15 sec.)	
	(Calcul 0,1 sec.)	*Etes-vous marié ?*
Oui	(Réflexion 5 sec.)	
	(Calcul 0,1 sec.)	*Combien d'enfants ?*
1	(Réflexion 30 sec.)	
	(Calcul 0,2 sec.)	*Vous payez 450 F.*
Terminé	(Réflexion 1 minute)	
	Fin de la session avec ce terminal.	

Le superviseur doit servir au mieux les utilisateurs en choisissant judicieusement les ressources à leur affecter. Tout d'abord il change sa politique en matière d'attribution du temps de calcul à chacun. Il ne peut plus, maintenant, attribuer de priorités : tous les utilisateurs sont aussi pressés. Le superviseur ne sait ni combien de temps le programme doit travailler avant d'envoyer une réponse, ni combien de temps l'utilisateur réfléchira avant de fournir la sienne. Il faut alors repenser les méthodes de partage des ressources de la machine.

Le superviseur n'est plus seul maître à bord

En premier lieu le nombre de programmes qui doivent être actifs n'est plus, comme en multiprogrammation, con-

trôlé par le superviseur. Il est imposé par les utilisateurs devant leurs terminaux. Ce nombre est en général très important, plusieurs dizaines d'utilisateurs pouvant être connectés simultanément. Tous les programmes ne peuvent donc pas être contenus dans la mémoire simultanément. Par ailleurs, les temps de réflexion de l'utilisateur pendant lesquels son programme est inactif, en attente de sa réponse, est très grand. Il se mesure en secondes. Par contre, le temps nécessaire pour copier la zone de la mémoire où se situent programme et données, vers (ou depuis) un disque magnétique, se mesure en dizaines de millisecondes.

Les programmes de l'utilisateur ne sont pas en permanence en mémoire

Ainsi le superviseur organise pour chaque programme un mouvement de va et vient entre la mémoire centrale et un disque magnétique. De cette façon, le superviseur peut choisir les programmes qu'il veut actifs à un moment donné. Il les charge en mémoire, puis fait de la multiprogrammation entre eux. Toutes les secondes, il peut remettre son choix en question, éliminer certains programmes, en apporter d'autres. En particulier dès qu'un programme est en attente d'une réponse du terminal, le superviseur l'élimine, car il sera en attente pendant plusieurs secondes.

Les choix du superviseur : organiser la pénurie

Le superviseur doit choisir à quel moment il doit amener un programme en mémoire et à quel moment il doit l'éliminer. Ici encore les choix sont différents de ceux de la multiprogrammation. Il se peut en effet qu'un programme travaille une seconde avant d'attendre une réponse de l'utilisateur, ou un quart de seconde, ou deux minutes. Ce temps est imprévisible. De plus, il faut que chaque utilisateur attende peu pour un travail court. Pour satisfaire à cette condition, le superviseur va affecter une tranche de temps à chaque programme, d'une façon cyclique. Une seconde au premier, une seconde au deuxième... Par ce partage de temps, un utilisateur attendra peu la fin de l'exécution d'un traitement élémentaire.

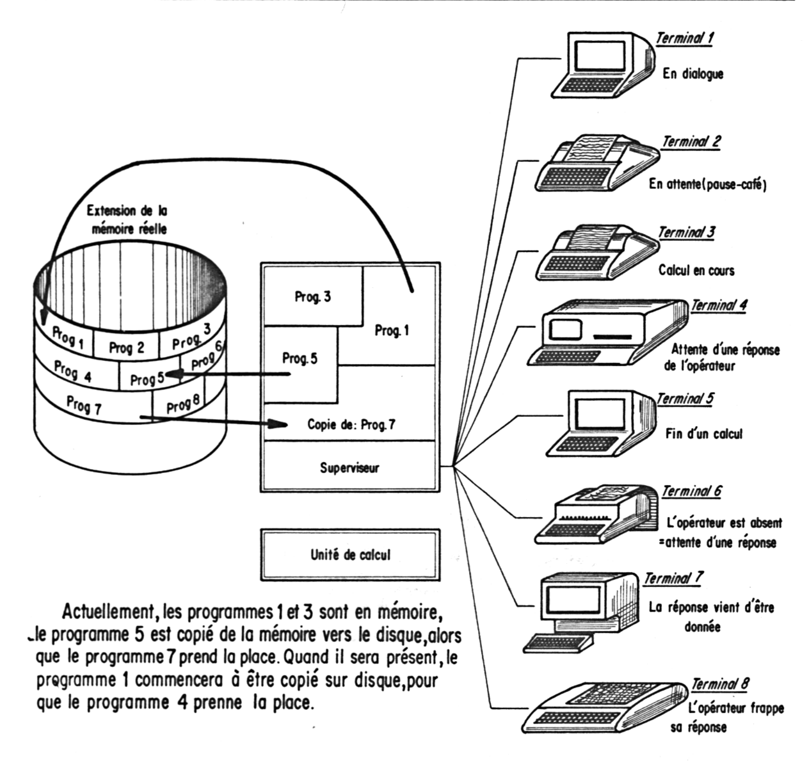


Fig. 1. Gestion des programmes en «temps partagé»

Le choix judicieux des tranches de temps

Pour qu'il attende encore moins, le superviseur attribue une tranche de temps à son programme dès réception du signal envoyé par le terminal, indiquant la fin du message. Ainsi, un travail demandant un court traitement est effectué dans la seconde qui suit l'envoi du message. En fait ce traitement sera terminé avant que le chariot de la machine à écrire du terminal soit revenu en début de ligne. L'utilisateur a donc l'impression d'obtenir instantanément la réponse. Bien sûr, les traitements demandant un temps de calcul supérieur à la durée de la première tranche de temps attendront beaucoup plus longtemps. Le temps d'attente dépend alors de la charge de la machine, c'est-à-dire du nombre des utilisateurs connectés au système, et de leurs activités.



Nous sommes loin de l'ordinateur bien organisé en multi-programmation. Il conviendrait - à son niveau - de parler d'anarchie ; les utilisateurs peuvent demander ce qu'ils veulent, quand ils le veulent. En général, ils travaillent tous en même temps : vers la fin de la matinée, en pleine après-midi. Pendant ces heures de pointe, l'ordinateur - qui ne peut se surpasser - fait attendre plus longtemps chaque utilisateur. Pendant les heures creuses, l'ordinateur ne consacre qu'une partie de son temps pour satisfaire aux demandes faites par les terminaux. Il peut alors effectuer des travaux en temps différé. Les résultats peuvent alors attendre la nuit.

Le rêve du gros ordinateur : être aussi convivial que le petit

Grâce au temps partagé, chaque utilisateur croit être le seul à faire travailler l'ordinateur central. Pour rendre des services au plus grand nombre d'utilisateurs possible, il faut que ce terminal puisse être mis en oeuvre par un non-spécialiste. C'est pourquoi - encore au prix d'une sophistication du superviseur - l'utilisation du terminal doit se libérer des contraintes de la machine. Progressivement, la compilation disparaît comme cela se passe dans les micro-ordinateurs. Les programmes de l'utilisateur sont alors directement exécutés sous la direction d'un interprêteur. Ce dernier traduit et exécute chaque ligne de programmation, et détecte les erreurs au moment où elles se produisent. Il peut les signaler à l'utilisateur qui les corrige ensuite. L'interprèteur continue alors le travail au point où il en était resté. Pour corriger cette erreur, l'utilisateur étudie le contenu des variables qu'il appelle par leur nom, la ligne du programme où l'erreur s'est produite, il corrige immédiatement.

Le *dump,* véritable image de la mémoire centrale à un instant donné, qui peut atteindre des centaines et des centaines de pages d'imprimante commence à disparaître. La carte perforée devient aussi moins utilisée. Enfin le gros ordinateur cherche à se transformer en de multiples micro-ordinateurs, chacun d'eux ayant la souplesse d'emploi du petit, et étant bien adapté à une tâche donnée.

QUAND L'ORDINATEUR EST LOIN

La bonne façon de se relier à un ordinateur plus ou moins éloigné, c'est tout bêtement de «tirer» un fil jusqu'à lui. Evidemment, il y a «fil» et «fil».

L'ordinateur «at home»

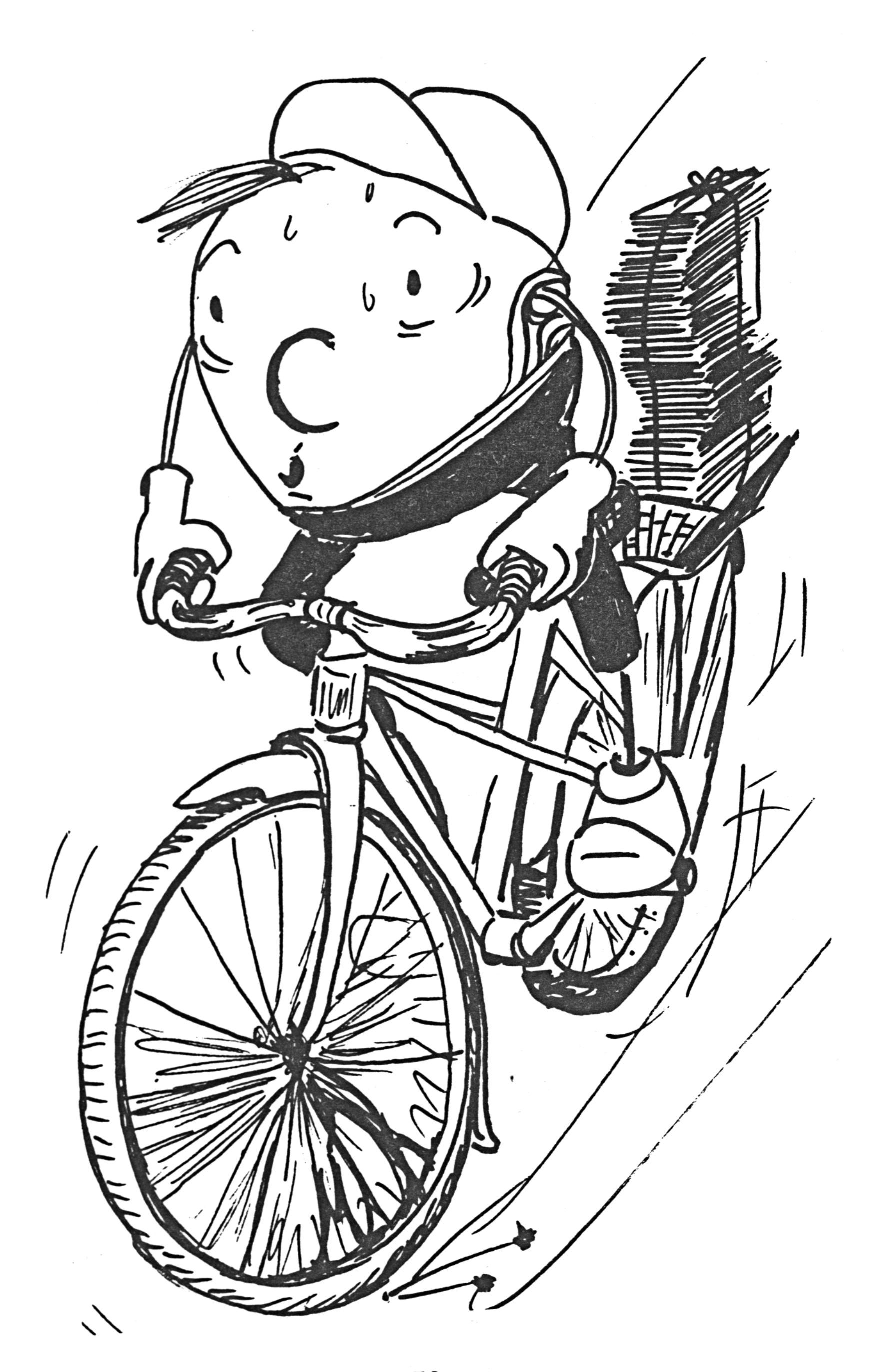
Nous venons de découvrir cette fameuse bête informatique et toutes les manières . . . ou presque, de l'apprivoiser, à condition toutefois de l'approcher.

Est-ce-à-dire que l'ordinateur ne peut être accessible à l'utilisateur que s'il est lui-même l'un de ces périphériques que nous avons décrits au début de cet ouvrage ?

Heureusement, il n'en est rien, et nous allons voir dans cette leçon que, de même que le télégraphe, le téléphone portent l'écriture, la voix au loin, le *télétraitement* permet de distribuer l'énergie informatique, à partir d'un site central, sur le lieu même de son emploi.

Le télétraitement sera rendu possible d'une part grâce à des canaux de transmission qui relieront l'ordinateur à ses périphériques éloignés, on dira alors ses *terminaux,* d'autre part par l'utilisation de dispositifs électroniques tels que modems, coupleurs, etc . . .

Grâce à eux, l'utilisateur va bénéficier de nouvelles possibilités de traitement sans se soucier de la distance, parfois considérable, qui le sépare de l'ordinateur. Tout va se passer comme si la machine était installée à l'endroit même où naissent les informations et où sont exploités les résultats.



Accéder à l'ordinateur d'un endroit éloigné est une bonne chose, mais comment ?

Comment lui faire parvenir les données à traiter ; comment récupérer les résultats de nos élucubrations et des siennes ?

Plusieurs solutions sont d'une évidence absolue.

Si l'ordinateur est vraiment proche, la solution est immédiate : c'est le «foot-processing».

Est-il un peu plus éloigné ? Alors, le «vélo-processing» est la solution tant écologique qu'informatique.

On peut ainsi poursuivre l'escalade des moyens de transport en fonction de l'éloignement, jusqu'à l'avion, en passant par le train, sans omettre l'inévitable automobile.

Ne souriez pas ; plus fréquente qu'on ne le croit est l'utilisation soit de courriers spéciaux (navettes automobiles), soit tout simplement de la poste pour transmettre principalement des bandes magnétiques ou des disquettes.

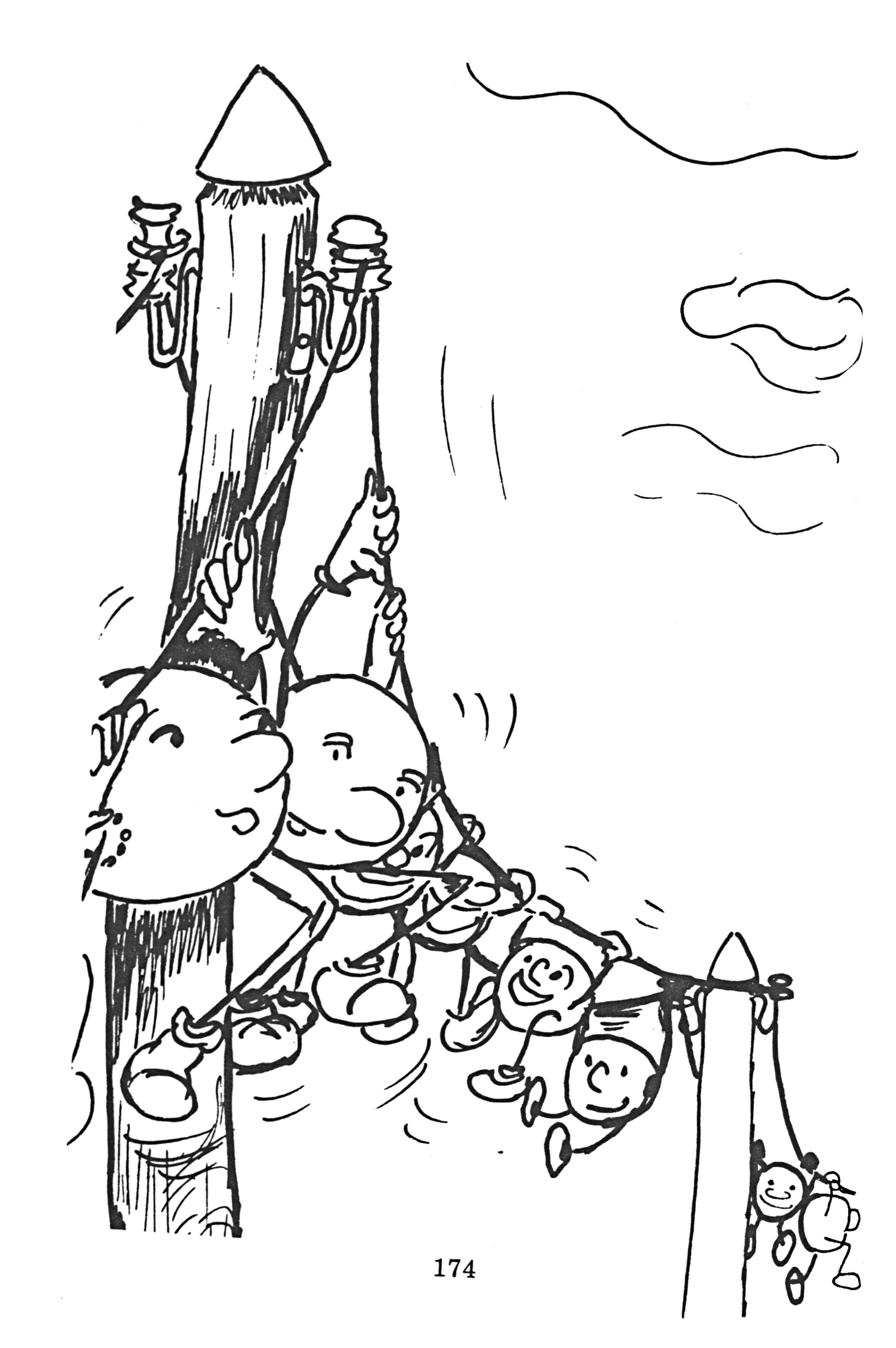
La liaison avec l'ordinateur : les lignes de transmission.

Nous savons que les informations numériques peuvent être représentées par des signaux électromagnétiques. Il était donc naturel de penser à véhiculer ces signaux, donc cette information, soit sur un fil électrique, soit par liaison radio (liaison hertzienne), le long de ce qu'on appelle un canal de transmission et plus précisément une ligne de transmission dans le cas filaire.

Ce canal de transmission, véritable fil d'ARIANE de nos informations, va devoir satisfaire à quelques conditions.

De ces qualités vont dépendre celle de l'information transmise, mais aussi le débit auquel va s'opérer cette transmission.

L'ensemble de ces qualités et plus généralement des paramètres impliqués dans les transmissions est normalisé au niveau mondial par un organisme appelé CCITT (Comité



Consultatif International Télégraphique et Téléphonique). Le CCITT émet des avis qui sont pour la plupart respectés par les administrations ou les constructeurs.

Physiquement, la ligne la plus simple est celle de l'ancien télégraphe qui ne comprenait qu'un seul fil, la fermeture du circuit électrique étant alors assurée par la terre elle-même.

Pour des raisons dues à la très mauvaise qualité de telles liaisons, elles étaient utilisées à **l'alternat** (on dit encore en mode **half duplex**, chaque extrémité émettant à son tour quand l'autre avait terminé comme avec les walkie-talkies. Le mode **bidirectionnel simultané** (ou **full duplex**), où les deux extrémités peuvent émettre en même temps, est rendu possible grâce à l'utilisation de deux fils, non pas comme on pourrait le croire par spécialisation de chaque fil pour un sens donné, mais par amélioration de la qualité de la liaison qui permet de superposer les deux sens de transmission sur les deux fils en même temps. C'est le cas du lien qui unit le combiné téléphonique au central.

Toujours dans le but d'améliorer la qualité et les performances, les liaisons intercentraux téléphoniques sont réalisées par des lignes quatre fils séparées en deux paires et où, cette fois, chaque paire est spécialisée dans un sens de transmission.

Quels types de lignes utiliser ?

En France l'administration des PTT a le monopole des lignes de transmission.

Certaines sont mises à disposition publique. C'est ainsi que l'on va pouvoir utiliser le réseau téléphonique (ou le réseau télex) national - **dit réseau téléphonique (ou télex) commuté**, pour transmettre des données ; à des débits toutefois limités.

D'autres sont **louées**, c'est-à-dire détachées du faisceau des centraux téléphoniques et affectées à un seul abonné. (voir figure 1)

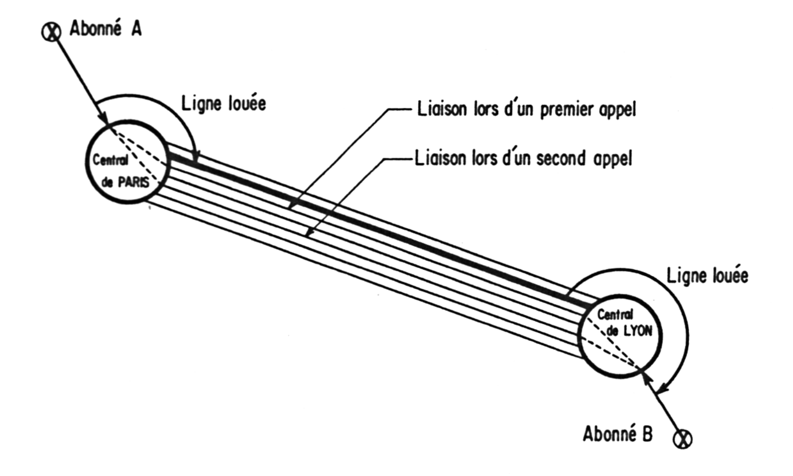


Fig. 1.

Le choix de tel ou tel type de liaison dépend de plusieurs critères :

- des lignes PTT disponibles et utilisables,
- des quantités d'informations que l'on veut y faire passer (délai, fréquence, volume...),
- de l'implantation géographique des matériels que l'on veut relier.

Qualités d'une ligne de transmission

Lors de sa transmission, l'information va être affaiblie, déformée et parasitée.

L'affaiblissement A est calculé à l'aide du rapport entre la puissance de départ du signal électrique P1 et la puissance du même signal à l'arrivée P2, grâce à la formule :

$A = 10\log_{10}P1/P2$ où A est exprimé en décibels (db).

Ainsi un affaiblissement de 3 décibels correspond à peu près à une division par deux de la puissance de départ. L'affaiblissement dépend également de la *fréquence*.

On pallie cet affaiblissement, c'est-à-dire que l'on augmente la portée d'une ligne de transmission en y incorporant de place en place des **amplificateurs** appelés **répéteurs**.

Un paramètre important est le **débit binaire** maximum de la ligne qui s'exprime en **bits par seconde** et qui représente le **nombre maximum** de bits d'information utile qui peuvent s'écouler en une seconde à un point donné.

D'autre part, devant l'explosion de la demande en matière de télé-traitement, les PTT ont étudié des structures de réseaux spécialisés pour la transmission de données.

C'est ainsi que sont nés les réseaux CADUCEE et RCP. Ce dernier est le banc d'essai de TRANSPAC, réseau public national de transmission de données par paquets, dont l'ouverture est prévue à la mi-78.

La mise en forme de l'information à transmettre.

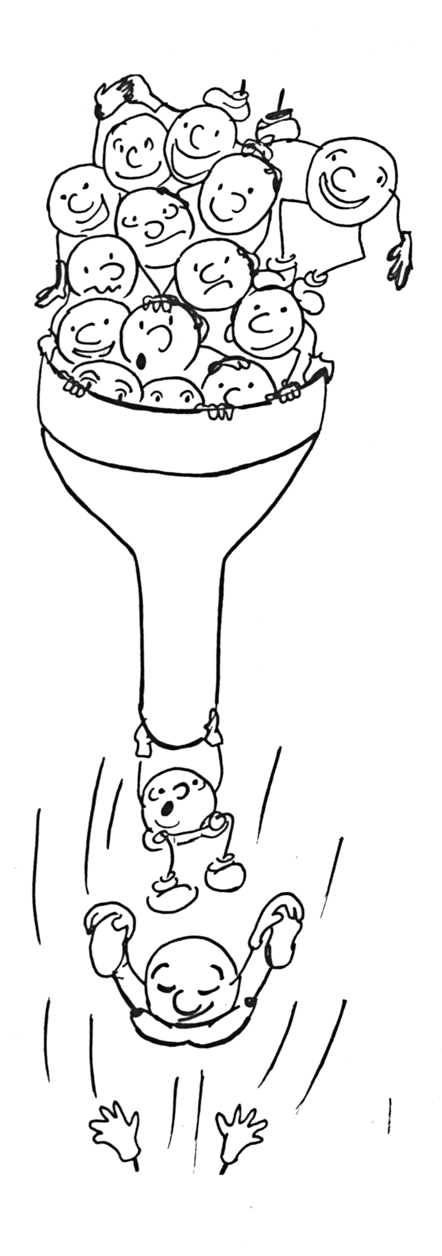
Telle qu'elle est disponible dans les registres de sortie d'un ordinateur, l'information à transmettre ne peut être véhiculée dans de bonnes conditions de qualité et d'économie.

En particulier, il faudrait prévoir un fil pour chacun des bits de ces registres.

L'information va donc être **mise en forme**, pour être adaptée à la transmission. Elle va être *sérialisée, modulée* au départ de l'ordinateur pour être *démodulée* et *désérialisée* à l'arrivée au terminal et de même dans l'autre sens.

La sérialisation

Cette opération consiste à mettre sous forme d'une série d'impulsions électriques de durée et d'amplitude bien définies, et particulièrement bien adaptée à la transmission,



le contenu d'un registre. L'amplitude de chaque impulsion - par exemple 0 et + 5 volts - sera fonction de l'état du bit correspondant soit 0 et 1.

Cette sérialisation est effectuée grâce à un dispositif logique commandé par un cadenceur appelé horloge.

A l'autre extrémité, on effectuera l'opération inverse pour charger l'information dans le registre d'entrée. Cette opération, qui consiste à *paralléliser* l'information série, a pour nom la désérialisation.

La modulation

L'information sérialisée que nous venons de décrire peut sous certaines conditions être transmise telle quelle selon un mode de transmission appelé *bande de base.* Mais en règle générale, on va faire appel à **la modulation.**

La modulation consiste à transformer les signaux numériques constituant l'information à transmettre, en signaux analogiques adaptés électriquement à la voie de transmission choisie et composés de signaux alternatifs complexes.

En effet, un signal alternatif élémentaire peut être représenté par une fonction sinusoïdale du temps selon la formule :

$$A_t = A_o \sin (2 \pi f t + \varphi)$$

dans laquelle :

A_o : amplitude maximum
A_t : amplitude instantanée au temps t
f : fréquence
φ : phase

La modulation va donc consister à **moduler une onde porteuse** selon l'état des bits constituant l'information numérique sérialisée.

On va disposer de trois types de modulation :

— **la modulation d'amplitude** dans laquelle la fréquence et la phase sont conservées, mais où l'amplitude (A_t) est fonction de l'état (0, + 5V) du signal numérique à transmettre.

— **la modulation de fréquence** dans laquelle l'amplitude et la phase sont conservées, mais où la fréquence varie avec l'état du signal numérique à transmettre.

— **la modulation de phase** dans laquelle la phase est décalée en fonction de l'état du signal numérique à transmettre.

La figure 2 résume ces différents types de modulation.

A l'arrivée au terminal, l'information va être **démodulée,** c'est-à-dire remise sous une forme numérique. La modulation et l'opération inverse la démodulation vont être regroupées dans un même support physique appelé **modem** - contraction, des mots **modulateur** et **démodulateur.**

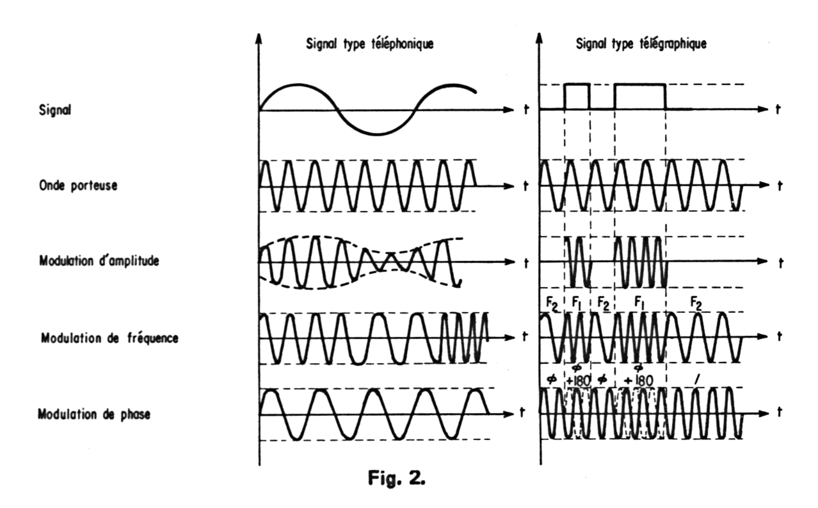
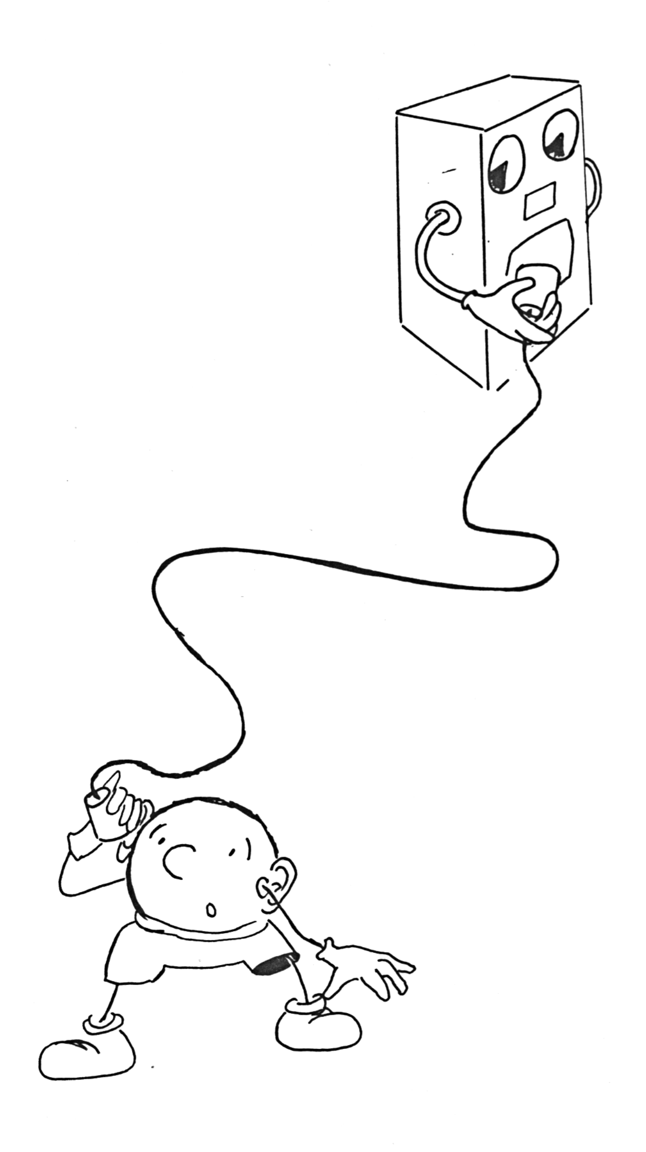


Fig. 2.

Le modem fait donc varier l'état de la porteuse avec le temps, suivant la séquence de 0 et de 1 qu'on lui demande de transmettre. Le nombre maximum de fois, par seconde où le



modem peut faire varier cet état est une de ses caractéristiques principales, que l'on appelle vitesse de modulation (M) et qui s'exprime en **bauds**. La quantité 1/M est l'intervalle de temps élémentaire du modem.

Elle représente tout simplement le temps minimum pendant lequel la porteuse restera obligatoirement dans le même état.

Certains modems ne peuvent conférer à la porteuse que deux états distincts, E_1 et E_2. On ne peut alors faire autrement que de faire représenter le bit 0 par l'un des deux états et le bit 1 par l'autre.

On voit que dans ce cas la vitesse de modulation et le débit binaire seront représentés par le même nombre. Certains modems plus compliqués peuvent conférer à la porteuse plus de deux états. Dans le cas de quatre, par exemple, on associera à chacun non plus un bit, mais une paire :

L'état E_1 représentera 00, E_2 représentera 01, E_3 repré sentera 10 et E_4 représentera 11.

On voit qu'ici le débit binaire sera double de la vitesse de modulation.

Les modes de transmission

Cette information que nous venons de torturer est, en principe, apte à circuler sur nos lignes de transmission. Seulement, comme pour les trains, il existe des règles de circulation que l'on va appeler ici *modes de transmission.*

Il existe principalement deux méthodes pour faire voyager les données sur les lignes de transmission entre l'ordinateur et le terminal et vice versa :

— la transmission asynchrone, ou START/STOP.
— la transmission synchrone.

La transmission asynchrone

Dans ce mode de transmission les caractères envoyés par l'émetteur ne sont pas liés entre eux et l'émetteur est totalement maître du temps séparant l'envoi de deux caractères consécutifs.

Quand au récepteur, il n'a aucun moyen de savoir à quel moment un caractère est susceptible de lui parvenir. Il va donc rester en sommeil jusqu'à ce qu'un caractère se présente ; chacun de ceux-ci est précédé d'un bit spécial appelé START et destiné à réveiller le récepteur.

Le décodage par celui-ci du bit START s'appelle synchronisation-bit. La partie de l'ordinateur qui l'effectue s'appelle un coupleur. A partir du moment de son réveil, le coupleur va, tous les cent dixièmes de seconde, prendre un instantané de l'état de la ligne (dans le cas d'une liaison à 110 bits/s, bien entendu) ; cet instantané consiste tout simplement à mesurer la tension, opération qui ne dure que quelques millisecondes. On dit que le coupleur échantillonne le signal.

Ce coupleur sait qu'il doit échantilloner huit fois à partir du moment où il est réveillé (si on utilise le code ASCII qui est à huit bits...)

Lorsque le coupleur a fini d'échantillonner, il se rendort. Pour lui laisser le temps de le faire convenablement, le terminal, après avoir envoyé le dernier bit du caractère, place la ligne sous 5 volts pendant deux intervalles de temps élémentaires, c'est-à-dire un cinquante cinquième de seconde. On dit qu'il envoie un STOP. Ensuite, soit la ligne reste au repos pendant un certain temps, soit un autre caractère parvient au coupleur, précédé de son START, et suivi de son STOP, etc... La figure 3 montre la physionomie d'un caractère complet.

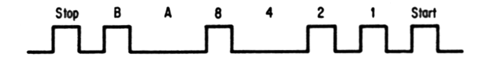


Fig. 3.

La transmission synchrone

Nous venons de voir qu'en transmission asynchrone, on travaillait caractère par caractère, chaque caractère réveillant le coupleur grâce à son START - et le replaçant au repos par son STOP.

Dans la transmission synchrone, le coupleur, appelé **coupleur synchrone**, n'est jamais en sommeil : il est en fait maintenu en état d'alerte en permanence par une horloge qui bat la mesure, de manière régulière, et de la même façon pour tous les équipements de la liaison (coupleur, terminal, modems). C'est tout à fait analogue à un orchestre dont tous les instrumentistes sont synchronisés sur un seul rythme : celui du chef d'orchestre.

Il y a donc une **synchronisation bit** permanente. Cette méthode permet de supprimer le START et le STOP encadrant les caractères et d'accoler ceux-ci les uns aux autres en aussi grand nombre que nécessaire, pour former un *bloc* ou *message.* De ce fait, ce mode de transmission est également appelé **mode message.**

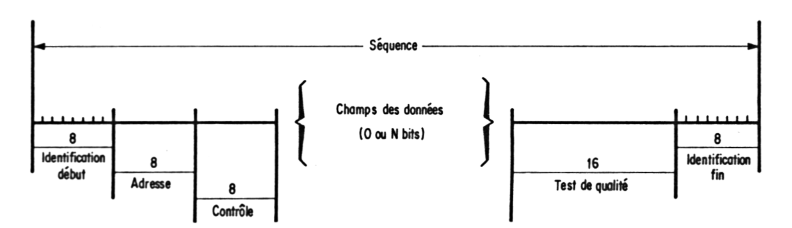


Fig. 4. Mode message.

Ce message comporte toujours un groupe de bits particulier annonçant son début, de manière à provoquer une synchronisation-caractère.

Une indication quant à sa longueur doit également être présente, ou à défaut un groupe de bits particulier indiquant sa fin.

Ces indications de début, fin ou longueur, appelées indications de service ne doivent pas pouvoir être confondues avec

les données de l'utilisateur formant le corps du message. Certaines règles astucieuses, dites de **transparence**, ont donc été mises au point et interviennent dans la composition et le décodage de ces messages. D'autre part, pour contrôler les **erreurs de transmission** (et nous verrons ce point plus en détail un peu plus loin), on est amené à rajouter au message un certain nombre d'informations suivant des règles très précises.

L'ensemble de toutes ces règles concernant la fabrication d'un message est appelé **procédure de transmission.** C'est le coupleur qui se charge, au niveau de l'ordinateur, de gérer la procédure de transmission.

Les dispositifs spéciaux des transmissions

Outre les modems, qui permettent la transmission de l'information et les coupleurs qui permettent d'accéder à l'ordinateur et qui jouent souvent un rôle complexe selon les procédures de transmission utilisées, il existe des dispositifs spéciaux tels que les **multiplexeurs,** les **concentrateurs** et les unités **de contrôle de transmission** destinés à rendre la transmission plus économique et à augmenter le nombre d'applications du télétraitement.

Les multiplexeurs

Ce sont des dispositifs qui mêlent à l'émission et démêlent à la réception les informations circulant sur les voies asynchrones à faible débit et qui communiquent entre eux par une voie à fort débit. Plus précisément, il y a deux techniques de **multiplexage** : le multiplexage en **fréquence** et le multiplexage **temporel...**

Commençons par décrire la première :

Supposons que nous ayons quatre terminaux multiplexés en fréquence. Au terminal n°1 sera assignée une porteuse à deux fréquences F1 et F2 par exemple. Au terminal n°2 sera assignée une porteuse jouant sur deux fréquences appartenant à une *bande de fréquences* (c'est-à-dire l'ensemble des fréquences comprises entre deux fréquences limites) nettement séparées, soient F3 et F4. De même, les terminaux 3 et 4 correspondront respectivement à des porteuses F5/F6 et


mode de transmissions...

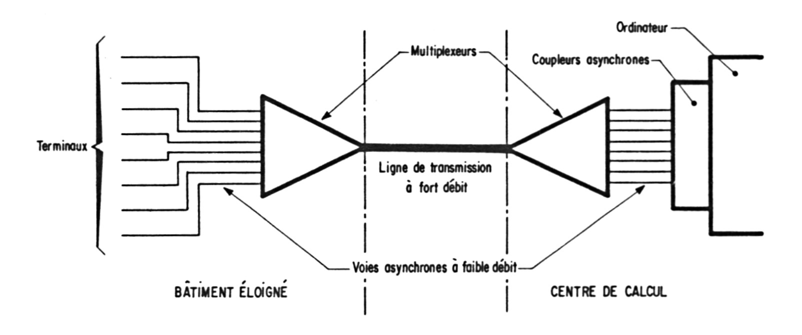


Fig. 5. Liaisons avec multiplexeurs.

F7/F8. En somme chaque terminal expédie son signal sur un modem travaillant sur le même principe de modulation mais dans des bandes de fréquences bien séparées les unes des autres. Ces modems à leur tour émettent un signal et ces signaux sont additionnés et envoyés sur une seule ligne, celle qui relie le multiplexeur à son collègue. La ligne en question doit bien entendu avoir une *bande passante* (c'est-à-dire l'ensemble des fréquences que la ligne est physiquement capable de transmettre) couvrant au moins les fréquences de F1 à F8.

Le signal composite qui circule sur la ligne et entre dans l'autre multiplexeur, a une allure assez compliquée. Peu importe. Ce signal passe au travers de quatre filtres, ne laissant passer chacun qu'une certaine bande de fréquences, à savoir respectivement : F1/F2 - F3/F4 - F5/F6 et F7/F8. Les signaux ainsi isolés entrent chacun dans un démodulateur apte à les traiter et chacun de ces quatre démodulateurs expédie un signal en créneau sur le coupleur asynchrone qui lui est dévolu. Ni les terminaux, ni le calculateur ne s'aperçoivent que les signaux ont été multiplexés.

Examinons maintenant le cas du multiplexeur temporel :

Supposons que nos quatre terminaux émettent vers un multiplexeur de ce type. Chaque bit dure 1/110 seconde. Le

multiplexeur va échantillonner successivement tous les 1/440 seconde, les extrémités des 4 lignes provenant de ces terminaux, de manière circulaire, c'est-à-dire la 1, puis la 2, puis la 3, puis la 4, la 1 de nouveau, la 2, la 3, la 4, la 1, etc...

Chaque ligne sera ainsi échantillonnée dans les 1/110 seconde ce qui correspond bien à la durée d'un bit dans les terminaux.

Les bits résultant de ces échantillonnages sont envoyés, dans l'ordre où ils sont acquis, vers le multiplexeur destinataire, au rythme d'un tous les 1/440 seconde. Un processus de démultiplexage exactement inverse se produit à l'autre bout où le lux émis par chaque terminal est reconstitué par un véritable demêlage.

Le multiplexeur récepteur, qui connait le nombre de lignes multiplexées ainsi que le rythme, n'a aucune difficulté à rendre à CESAR ce qui est à CESAR.

Les concentrateurs

Avec l'évolution du nombre d'utilisateurs éloignés, la quantité de travail que doit fournir le calçulateur du centre de calcul pour gérer ces terminaux augmente considérablement. Il vient donc à l'idée de remplacer les coupleurs par un véritable calculateur, frontal de l'ordinateur, comme le montre la

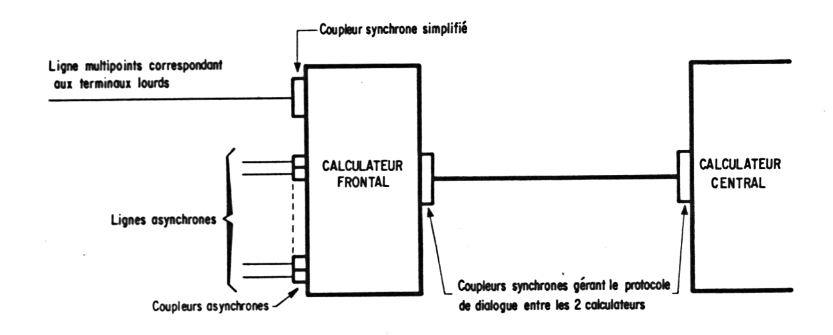


Fig. 6.

figure 6, que l'on appellera concentrateur et qui peut lui-même être situé à grande distance. L'intérêt de cette méthode est double : d'une part, la puissance de calcul d'un ordinateur, même petit, permet de décharger l'ordinateur central de beaucoup de petites tâches de routine pour consacrer plus de puissance aux programmes utilisateurs. D'autre, part un minicalculateur est programmable et par conséquent on peut modifier les terminaux raccordés, en ajouter ou en supprimer sans que le calculateur central soit concerné.

Un concentrateur est donc un ordinateur satellite, collecteur dispenseur d'informations, assurant également un contrôle de ces informations.

Les unités de contrôle de transmission

Nous venons de voir que la mise en oeuvre d'un système de télétraitement n'était pas toujours une chose aisée et qu'elle faisait intervenir des dispositifs complexes tels les multiplexeurs, les concentrateurs, les modem etc...

Du côté du terminal, la complexité n'est pas moindre et un organe particulier joue un rôle sans cesse croissant : c'est **l'Unité de contrôle de transmission.** Ses fonctions générales sont :

- la gestion globale des liaisons :

  — scrutation des voies du réseau pour savoir si une unité désire émettre ;
  — détection d'une fin de transmission ;

- la composition des messages :

  — sérialisation, désérialisation ,
  — groupement en blocs ,
  — formation des caractères de début ou de fin de bloc et de synchronisation ;

- le contrôle des données :

  — formation des blocs de contrôle pour l'émission,
  — vérification des blocs de contrôle à la réception,
  — etc...

C'est l'intégration de plusieurs dispositifs d'entrée-sortie autour d'une unité de contrôle de transmission à l'extrémité d'une liaison qui constitue ce qu'il est courant d'appeler un «terminal lourd», particulièrement adapté au traitement par lots à distance.

L'ensemble des règles régissant les échanges entre un terminal lourd et l'ordinateur (procédure de transmission, procédure de reprise en cas d'erreurs, etc...) est un bon exemple de ce qu'il est convenu d'appeler un **protocole de dialogue.**

Les types de liaison

Il existe plusieurs méthodes pour relier un terminal ou un ensemble de terminaux à un ordinateur :

— **liaison point à point**
Chaque terminal est relié à l'ordinateur par une ligne particulière. Il y aura donc autant de lignes qu'il y a de terminaux.

— **liaison avec multiplexeur**
Dans ce type de liaison, les lignes de télécommunication provenant des terminaux sont connectées à un multiplexeur, lui-même relié par une seule ligne à fort débit à un démultiplexeur situé à proximité de l'ordinateur et «éclatant» de nouveau les lignes avant qu'elles ne pénètrent dans ce dernier.

— **liaison avec concentrateur**
Plusieurs lignes provenant des terminaux pénètrent dans le concentrateur qui est directement relié à l'ordinateur par une ligne à fort débit.

— **liaisons multipoint**
Les stations terminales d'une même région peuvent être connectées sur une même ligne de transmission, diminuant ainsi les longueurs de lignes.

— **liaison en boucle**
C'est une liaison multipoint qui part de l'ordinateur, parcourt successivement tous les terminaux et retourne à l'ordinateur. Pour un terminal, deux voies d'émission sont possibles : celle de droite ou celle de gauche. C'est la première rencontrée libre qui est prise, ce qui fait que deux

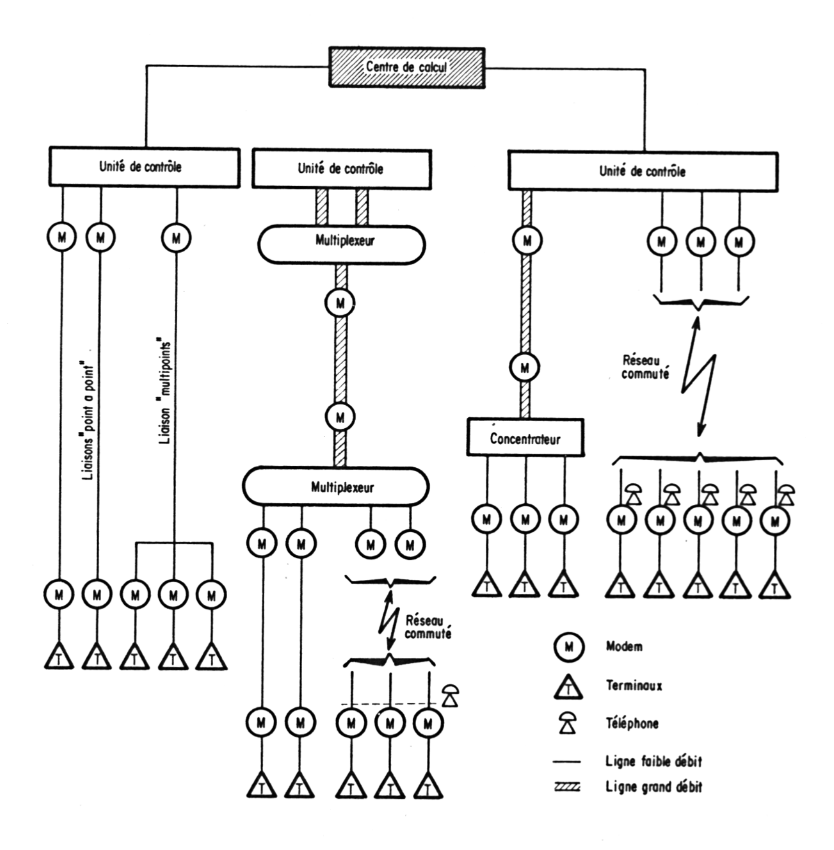


Fig. 7.

stations peuvent travailler en même temps. Autre avantage en cas de coupure de ligne, on peut utiliser une autre voie (le système de réservation d'AIR FRANCE fonctionne avec ce type de liaison)
La figure 7 résume ces différents types de liaison.

Les erreurs de transmission

La transmission de données sur lignes est perturbée par de nombreux bruits parasites. Lors de mesures systématiques faites sur de nombreux réseaux, on a trouvé des taux moyens d'erreurs de l'ordre 1/10 000ème pour les lignes empruntant les centraux automatiques à lignes spécialisées. Dans le cas d'une conversation téléphonique courante, la parole possède une densité d'information suffisante pour permettre au destinataire de comprendre la plupart des messages incorrects. En cas d'incompréhension l'auditeur possède d'ailleurs la ressource de faire répéter plusieurs fois distinctement.

En transmission de données, on peut tenter de limiter le taux d'erreurs en envoyant plus d'informations que nécessaires : on dit qu'il y a **redondance.**

Cette information supplémentaire va servir à **détecter** les erreurs pour permettre ensuite de les **corriger.**

Il existe des systèmes qui détectent et corrigent eux-mêmes les erreurs, d'autres (les plus nombreux) les détectent seulement et provoquent la répétition du message erroné.

Nous n'entrerons pas ici dans l'étude des différents codes de détection d'erreur qui font appel à des notions mathématiques très complexes.

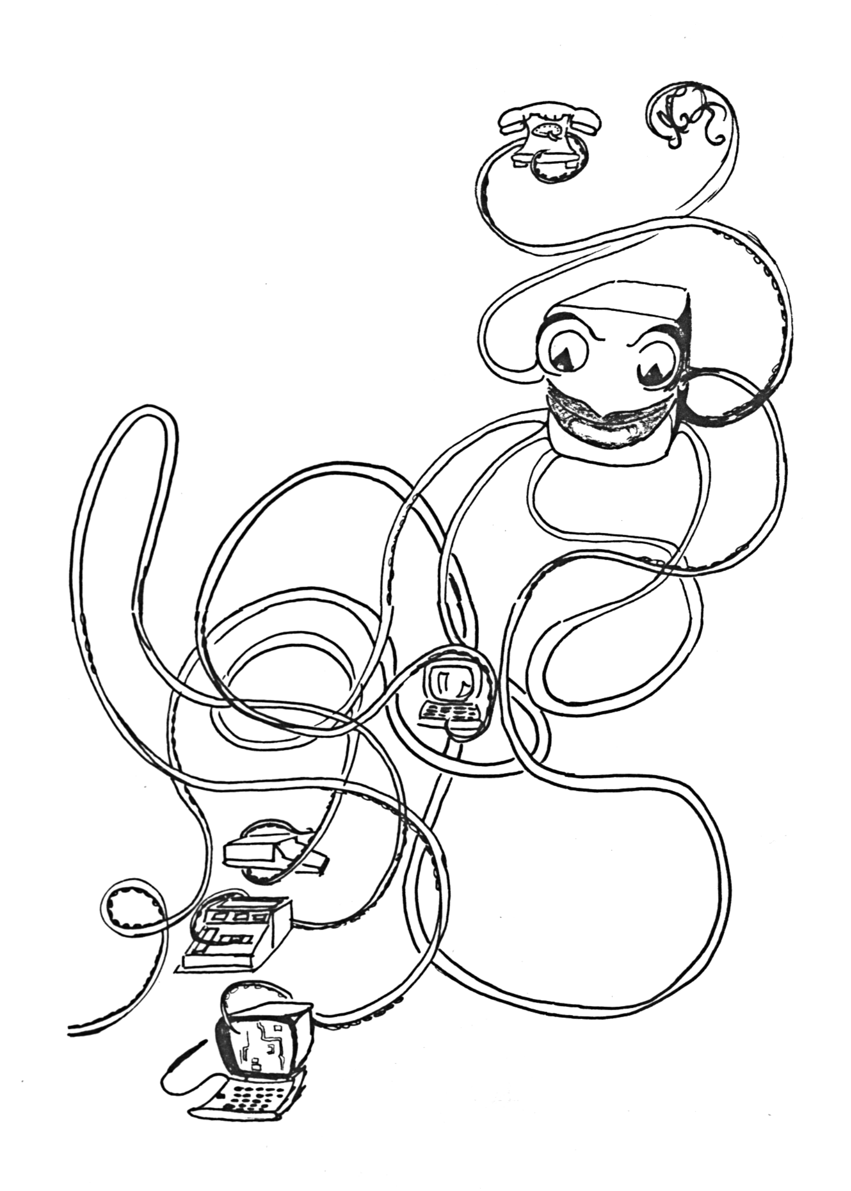
Nous décrirons seulement les méthodes de contrôle de parité où l'information redondante est réduite à un bit.

Prenons par exemple le cas d'un code à 7 bits. Dès qu'il a préparé un bloc de 7 bits, l'émetteur compte le nombre de bits à 1 dans ce bloc. Si ce nombre est pair, il rajoute un huitième bit qui sera 1 ; sinon il rajoute un huitième bit qui sera 0. Puis il émet les huit bits. Le récepteur les reçoit et,

connaissant les règles du jeu utilisées par l'émetteur, va compter le nombre de bit à 1 dans ce bloc de huit bits. Si le nombre qu'il trouve est pair, il considère qu'il y a eu erreur de transmission et si le nombre est impair il considère qu'il n'y a pas eu erreur de transmission. Voici un exemple précis pour illustrer ces propos :

Bloc à émettre :	0100110	
	3 bits à 1	
Bloc émis :	01001100	:
		bit 0 rajouté pour atteindre 8 bits et conserver l'imparité du nombre de bits à 1
Bloc reçu :	01101100	erreur de transmission
	4 bits à 1	
		Ce nombre devrait être impair. Il y a donc erreur quelque part.





A CHACUN SON INFORMATIQUE

Accéder à l'ordinateur même de très loin, c'est bien, même très bien. Mais quel ordinateur ?

Vers les réseaux

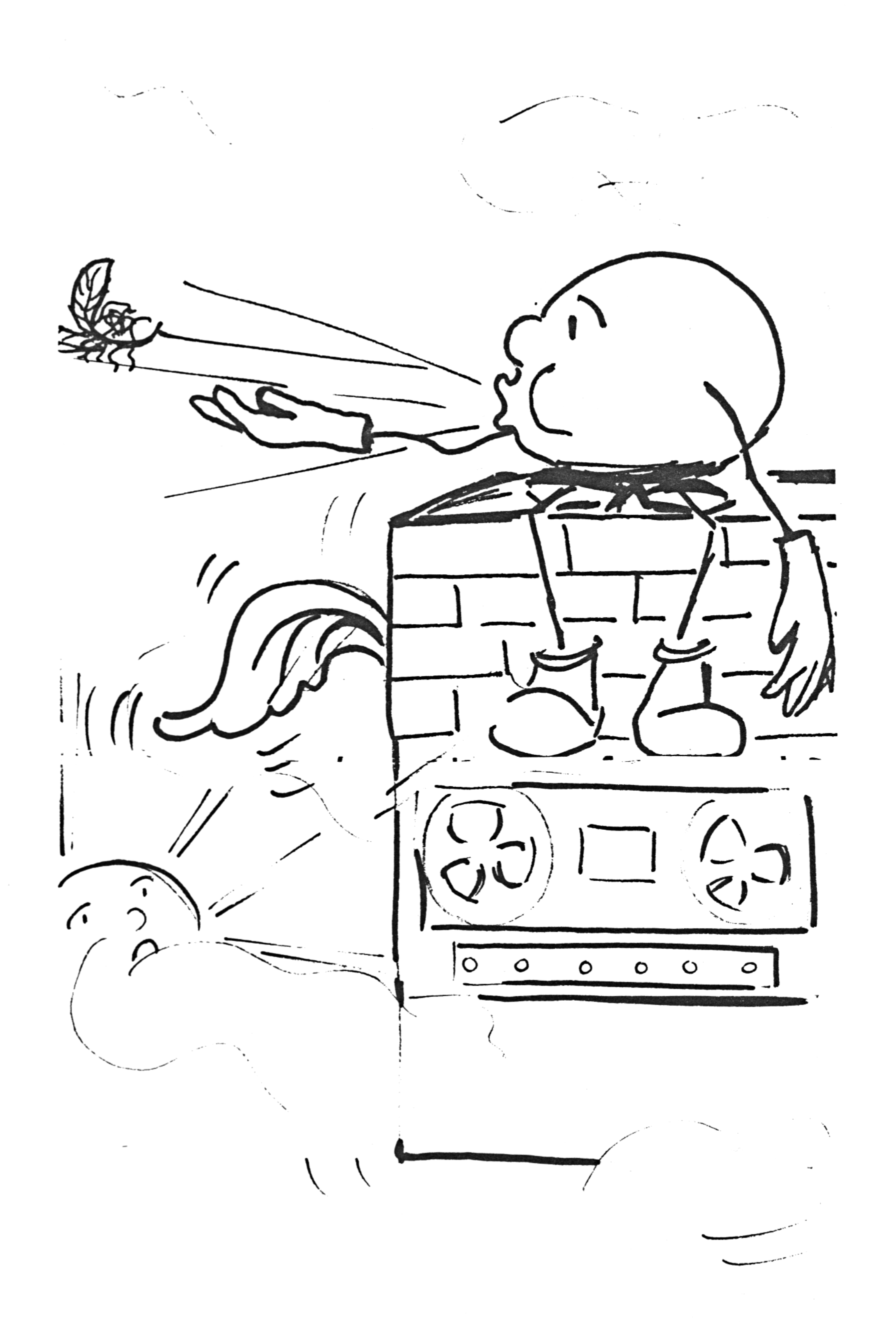
Nous avons vu que les lignes de plus en plus performantes donnaient la possibilité d'exploiter les machines dans des conditions très voisines de celles que l'on trouve sur le site de l'ordinateur lui-même.

Nous allons voir maintenant ce qu'il y a à l'autre bout de ces lignes, quels peuvent être ces **terminaux** qui doivent apporter - on dit distribuer - le calcul à domicile et quel degré de complexité ils peuvent atteindre.

Enfin nous allons aborder l'un des points les plus actuels de l'informatique, c'est-à-dire les **réseaux d'ordinateurs.**

En effet, et aussi surprenant que cela puisse paraître, un ordinateur même puissant ne peut pas être tous-azimuts. Selon la nature de son système d'exploitation d'une part, mais aussi selon les types de périphériques associés, il sera orienté vers la gestion, le traitement de calculs scientifiques ou le contrôle de processus industriels.

Il existe donc une complémentarité possible entre plusieurs types d'ordinateurs qui peuvent être éloignés géographiquement les uns des autres.



C'est de cette complémentarité que découle la notion de **réseaux d'ordinateurs** que nous allons décrire dans la dernière partie de cette leçon, dernière de ce livre.

Terminus, on descend !

Les terminaux constituent les terminus des systèmes de télétraitement. Ils diffèrent par leurs caractéristiques et leurs fonctions. Il sont choisis suivant la nature de l'application à traiter et leur nombre est très variable.

Ce sont eux qui assurent l'entrée, la sortie et, dans certains cas, un traitement élémentaire des informations.

Ils assurent donc les mêmes fonctions que les matériels périphériques de l'unité centrale, malgré des caractéristiques différentes, et l'existence d'une ligne de transmission qui les relie à l'ordinateur, sur une distance parfois élevée.

Selon, d'une part, leur mode d'exploitation, d'autre part, les moyens d'entrée/sortie et de traitement dont ils sont dotés, on distinguera, comme en boxe, les **terminaux légers** et les **terminaux lourds.**

Les terminaux légers

Ce type de terminal qui peut être constitué par une simple machine à écrire, parfois dotée d'un lecteur perforateur de ruban papier, est bien adapté au traitement en temps partagé. Rappelons que dans ce mode d'exploitation le système d'exploitation accorde cycliquement et successivement les ressources de la machine aux divers utilisateurs, pendant des tranches de temps égales.

Cela se déroule tellement vite que l'utilisateur ne se rend pas compte de ce partage et qu'il a l'impression que les ressources en question sont toutes pour lui seul.

La mise en route d'un tel terminal - on dit **ouvrir une session** - consiste, après avoir branché le courant bien sûr, à indiquer au calculateur que l'on désire travailler, en enfon-

çant une touche. Le calculateur répond alors un code donné et un dialogue simple commence selon une **procédure** d'ouverture de session.

Lorsque la session est ouverte, l'utilisateur peut commencer à travailler.

Le système d'exploitation en temps partagé met à la disposition de l'utilisateur un programme particulièrement puissant : **l'éditeur**, qui permet de modifier à volonté le fichier, sur lequel il travaille : effacement, insertion de ligne, etc...

De même, les compilateurs utilisés ont ceci de particulier qu'ils ne compilent pas. En fait ce sont des **interpréteurs**, c'est-à-dire que chaque instruction, frappée à la machine, va être **immédiatement exécutée.**

Des langages spéciaux, particulièrement bien adaptés au traitement en temps partagé ont été développés, tels que APL et BASIC déjà cités.

Ces terminaux permettent un véritable dialogue entre l'utilisateur et la machine, mais un dialogue où l'homme reste le meneur et le calculateur le mené.

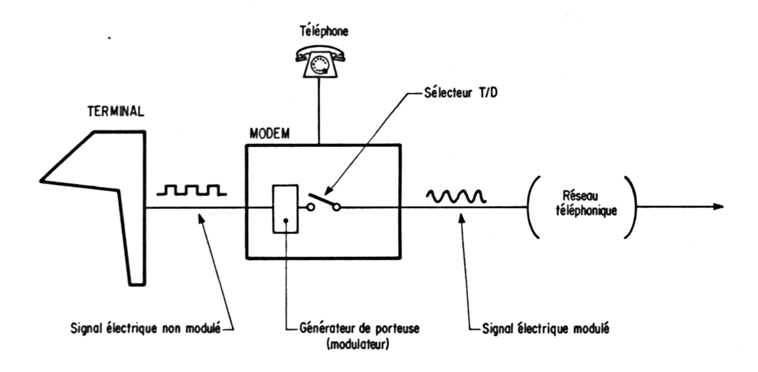


Fig. 1. Connexion d'un terminal sur réseau commuté.

Un terminal de voyage

Il existe des terminaux dits portables qui peuvent fonctionner en local, c'est-à-dire servir de machine à écrire, ou bien transmettre et recevoir sur une ligne, soit à 110 b/s soit à 300 b/s, selon que le modem et le coupleur à l'autre extrémité fonctionnent à 110 ou 300 b/s.

Ils sont généralement disposés dans une véritable valise et équipés d'un **coupleur acoustique.**

Disposant de ce type de terminal, dont certaines versions miniaturisées tiennent dans un attaché-case, l'homme d'affaire, le représentant, le gestionnaire peut à tout moment, dès l'instant qu'il a accès à un combiné téléphonique, se connecter à l'ordinateur et interroger ses fichiers.

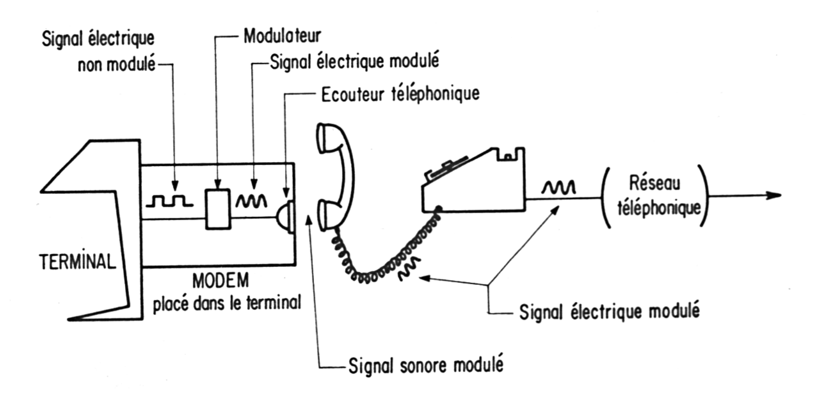


Fig. 2. Mise en œuvre d'un terminal de voyage.


HAAA

Echo ! Réponds moi !

Quand on utilise des terminaux de ce type en mode transmission, il apparaît un léger retard entre le moment où l'on frappe une touche et le moment où le caractère est imprimé sur le papier. La raison est la suivante :

Lorsque l'on est en local, la tête d'impression est directement commandée par le clavier et l'on n'observe pas le léger décalage dont on vient de parler. Par contre, en mode transmission, la tête d'impression n'est plus commandée par le clavier du terminal lui-même mais par l'ordinateur, à l'autre bout : lorsque l'on enfonce la touche correspondant à un caractère, celui-ci est transmis au modem ou au coupleur acoustique qui l'envoie sur la ligne. Ce caractère est reçu par le coupleur, à l'entrée de l'ordinateur relié au terminal. Le coupleur échantillonne ce caractère, c'est-à-dire détermine de quel caractère il s'agit, et renvoie au terminal ce qu'il a reçu. C'est la réception du caractère renvoyé par le coupleur qui met en route la tête d'impression. Pas mal d'opérations sont effectuées entre l'instant où l'on émet un caractère et l'instant où le terminal reçoit celui réémis par le coupleur ; ces opérations prennent un certain temps, minime, mais pas forcément indécelable.

C'est cette technique que l'on appelle l'**écho.**

C'est une méthode qui permet de déceler les erreurs de transmission. Si le caractère imprimé n'est pas le même que celui qu'on a envoyé, c'est qu'il y a eu une erreur de transmission dans un sens ou dans l'autre. Rien de plus facile alors que de l'«effacer» avec l'éditeur, puis de le retaper.

Les terminaux lourds

Comme nous l'avons déjà indiqué au chapitre précédent, une unité de contrôle de transmission peut être entourée de différents organes d'entrée/sortie. Rappelons également que l'unité de contrôle de transmission remplit deux fonctions :

Elle décharge en partie l'ordinateur de certaines tâches relatives à l'acquisition des données et à l'émission des résultats, mais elle va également participer au contrôle du réseau.

L'entrée des informations est réalisée par les moyens habituels :

- cartes perforées,
- bandes perforées,
- disques ou bandes magnétiques,
- claviers de machine à écrire, ou claviers spéciaux,
- documents magnétiques ou cartes marquées,
- appareils de mesures, etc.

La sortie des résultats se fait sur des supports et par l'intermédiaire de matériels à peu près identiques :

- cartes perforées,
- bandes perforées,
- disques ou bandes magnétiques,
- machines à écrire et imprimantes,
- écrans cathodiques (pour la visualisation),
- téléphones et matériels assimilés (unité à réponse vocale),
- organes réglants, etc.

Ainsi organisés autour de l'unité de contrôle de transmission ces moyens divers constituent, avec elle, un terminal lourd adapté au traitement par lots à distance (Remote batch). Un terminal lourd offre la possibilité de faire quelques traitements en local du style cartes à bande, ce qui signifie envoyer le contenu d'un paquet de cartes sur une bande magnétique), ou bande à imprimante, ou carte à imprimante, ou copie de bande.

Certains de ces terminaux lourds sont dotés à une unité de contrôle très évoluée (c'est parfois un mini-ordinateur légèrement modifié).

Ils permettent alors de travailler localement en multifonction : par exemple, une sortie sur traceur a lieu alors qu'une transmission de données est en cours. Le tableau ci-après indique les constituants d'un tel terminal.

Unité de contrôle :	9600 bauds mode message
Périphériques :	
Bande magnétique	Bandes 9 pistes 1 600 bpi
Lecteur de cartes	400 cartes/mn
Lecteur de ruban papier	150 à 300 caractères/s
Perforateur de ruban papier	75 caractères/s
Imprimante	400 lignes/mn
Tracteur digital	pas de 0,1 mm ; interpolateur 7,5 cm/s
Visuel graphique	Ecran conversationnel à mémoire

Exemple : Configuration d'un terminal lourd

Terminaux spécialisés

De nombreux terminaux sont adaptés à des tâches ou des environnements très particuliers. On peut les rattacher à trois grands secteurs : commerce, banque et industrie.


Smack
CRÉDIT

Faisant suite à la fameuse caisse enregistreuse, les terminaux **point de vente** connectés à un ordinateur, assurent le contrôle de la sortie des marchandises, donc la gestion en **temps réel** des stocks. Ils sont de plus en plus dotés de moyens d'entrée/sortie spéciaux, tels que lecteurs de cartes de crédit ou d'étiquettes magnétisées, qui facilitent les opérations financières (paiements, statistiques, etc...)

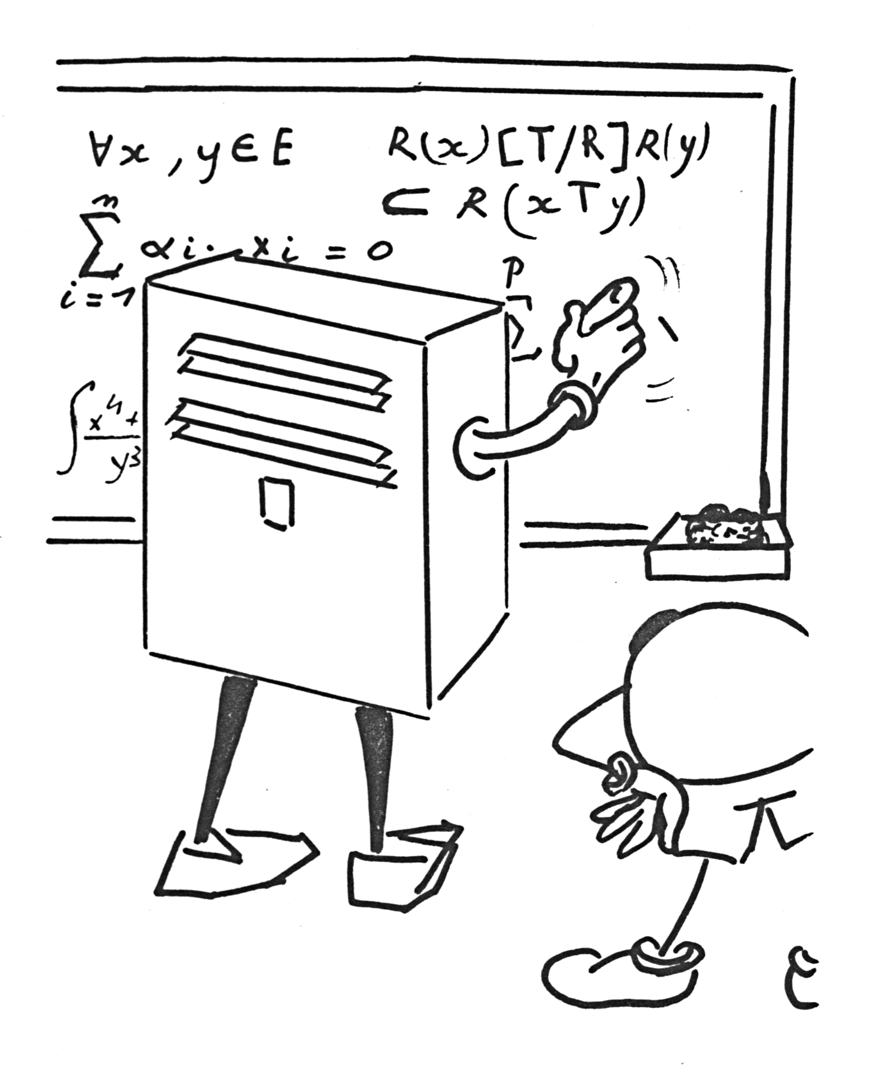
Les **terminaux bancaires** sont principalement destinés à automatiser les opérations de guichet. Ils permettent l'enregistrement des transactions courantes (dépôt et retrait d'espèces, opérations relatives aux chèques et virements, etc...) et l'utilisation de procédures d'ouverture et de consultation de comptes. Ils sont souvent dotés d'un écran et d'imprimantes spécialisées (chèques, tickets de caisse, bande contrôle) et ont comme caractéristique principale d'assurer une discrétion et une sécurité absolues des informations.

Il faut signaler également, toujours dans le domaine bancaire, les distributeurs de billets qui pallient à votre distraction quand fêtes ou week-end vous voient sans argent. L'arrivée des cartes à mémoire vous transformera en coffres-forts ambulants.

Les **terminaux industriels** répondent quant à eux à des objectifs de suivi de fabrication et de gestion de la production en temps réel ; installés en ateliers, ils sont utilisés dans un environnement particulièrement difficile. D'un maniement simple, ils permettent d'enregistrer l'état instantané des machines, des outils, l'état d'avancement des ordres de travaux, les temps passés par les ouvriers, le comptage des pièces usinées, des rebuts, etc.

Ces terminaux se présentent sous forme de coffrets munis d'un clavier, de touches spécialisées, parfois d'une visualisation d'une ligne de caractères et d'un lecteur de «badge».

On pourrait également donner dans cette catégorie les terminaux «horaires souples» qui ont dans bien des cas amélioré les conditions de travail.


$\forall x, y \in E$
$R(x)[T/R]R(y)$
$\subset R(xTy)$
$\sum_{i=1}^{n} \alpha i . x i = 0$

Enfin, on pourrait allonger sensiblement la liste des terminaux spécialisés, chaque type d'activité ayant bientôt le sien : cotation en bourse, agences de voyages, renseignements téléphoniques, bureaux de vote, etc...

L'apparition des microprocesseurs en est la raison principale.

Quand l'intelligence vient aux terminaux

Nous avons vu précédemment qu'en général les terminaux lourds assumaient trois types de fonctions :

— échanges avec l'ordinateur,
— interaction avec l'utilisateur,
— traitements locaux élémentaires,

qui sont réalisés avec une certaine **rigidité.**

Il était tentant de chercher à s'affranchir de cette rigidité et, une fois de plus, la petite bête est venue au secours de la grosse :

Le coût d'étude et de développement de ces terminaux a été très longtemps un frein à leur diversification ; en effet, un constructeur ne pouvait s'engager dans une réalisation qu'à la condition expresse qu'elle corresponde à une demande suffisante du marché. Or, à l'heure actuelle, les progrès technologiques et l'apparition des microprocesseurs, offrent des possibilités de spécialisation d'un terminal par une simple programmation, donc au moindre coût.

On va donc pouvoir modifier le terminal en le reprogrammant. On pourra ainsi changer de procédures de transmission, adapter le terminal à une tâche nouvelle, même temporaire, etc...

C'est cette accession à des tâches de plus en plus variées et de plus en plus complexes qui, en rapprochant les possibilités du terminal de celles de l'ordinateur, le font désigner, sous le vocable de terminal **intelligent**, c'est-à-dire possédant de la mémoire et une capacité de traitement.



Cette évolution dans les **possibilités locales** de traitement des informations a débouché sur les notions de **pré** et de **post-traitement.** C'est-à-dire ne seront envoyées à l'ordinateur que les informations nobles, bien mises en forme, réduisant du même coup, grâce à ce pré-traitement, les frais inhérents aux transmissions.

En retour, ces informations traitées pourront être transmises brutes au terminal qui pourra, grâce à un **post-traitement,** les mettre dans une forme compréhensible pour l'utilisateur.

Enfin pour terminer cette description des terminaux plus ou moins intelligents et à propos de leur exploitation, indiquons que les terminaux légers utilisent généralement les modes de transmission du type caractère (start-stop) alors que les terminaux lourds, compte tenu du grand volume d'information à échanger, font appel au mode message.

Si tous les ordinateurs du monde...

Nous avons maintenant à notre disposition tous les éléments nécessaires pour décrire un être nouveau, fruit de la rencontre de l'ordinateur et des transmissions : **le réseau de téléinformatique.**

Essayons d'énumérer quelques-uns des besoins qui, en se faisant jour petit à petit, ont amené à l'idée de réseau :

- **l'augmentation** rapide du nombre de centres de calcul et de clients dans chaque centre,

- **l'éloignement** d'une bonne partie des clients de centres de calcul. Par exemple une banque ayant son centre de traitement à Paris et des agences raccordées, à Lille, Marseille, Toulouse, Rennes, etc... La méthode jusqu'à présent est d'utiliser le téléphone pour les terminaux asynchrones à faible débit et des lignes permanentes louées aux PTT pour les débits plus forts. Connaissant le prix de trois minutes de conversation téléphonique entre Paris et Marseille, on imagine aisément le prix de revient de telles liaisons, à plus forte raison lorsque, comme c'est le cas la plupart du temps, ces

liaisons sont utilisées à seulement quelques % de leurs possibilités. Qu'on pense en effet à une session temps partagé de deux heures : pendant combien de minutes sur ces deux heures la ligne transmet-elle effectivement des bits ? Mais le compteur du téléphone, lui, tourne pendant ces deux heures, que l'on transmette ou non. Le problème est le même avec une ligne louée en permanence : un terminal lourd va l'utiliser quelques heures par jour ouvrable, c'est-à-dire vingt pour cent du temps, ce qui n'empêche pas de payer cent pour cent du tarif.

- **la diversification des interlocuteurs :**
Un tel, depuis longtemps client d'un seul et unique centre de calcul, peut être amené à vouloir travailler avec un ou deux autres centres.

- **les liaisons à distance** entre calculateurs, soit pour augmenter le nombre et la nature des services offerts, soit pour répartir harmonieusement la charge globale de travail.

Arrêtons là cette énumération largement suffisante pour montrer le besoin de créer rapidement un moyen susceptible de permettre à n'importe qui de se raccorder à n'importe quoi et ce aux meilleurs tarifs. La technique la plus adaptée à un tel objectif est la communication par paquets.

A propos de commutation

Nous avons exposé dans les pages qui précèdent les principaux concepts qui interviennent en transmission de données et en téléinformatique (multiplexage, modulation, procédures, coupleurs etc...). Il en est cependant un, absolument fondamental, dont nous n'avons pas encore parlé. Il s'agit de la **fonction de commutation.**

On peut tenter de définir sommairement l'action de commutation comme un choix concernant le chemin à emprunter pour faire progresser vers le destinataire ce qui a été émis par l'expéditeur.

Chaque point du chemin où un tel choix est effectué est appelé **noeud** de commutation. Essayons de visualiser un tel

noeud de commutation en imaginant des tuyaux pénétrant dans une boîte (fig. 3) ; chaque tuyau trouve son origine chez un abonné au système. Chaque abonné est susceptible d'expédier par l'intermédiaire de son tuyau des objets dont la nature importe peu.

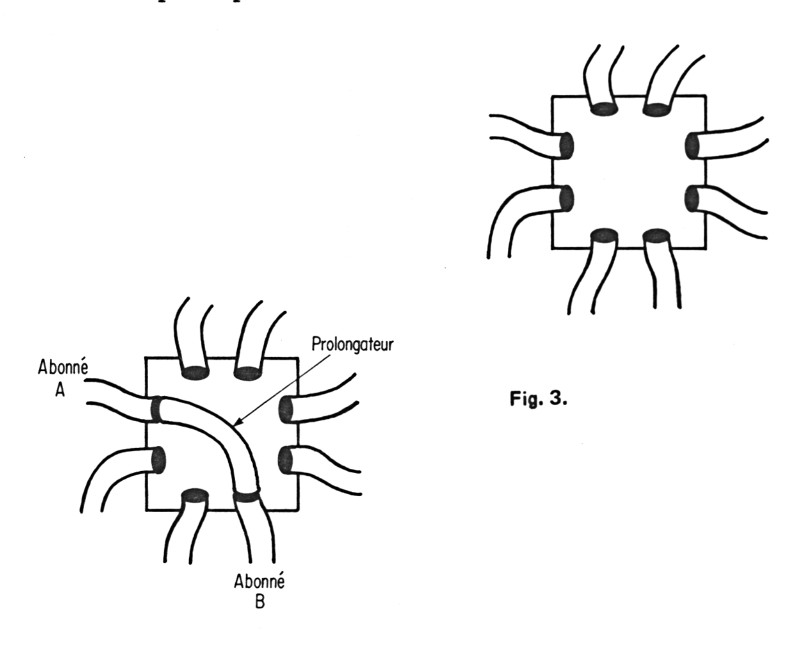


Fig. 3.

La commutation de circuits

Imaginons que l'abonné A veuille faire parvenir un objet à l'abonné B. Deux méthodes peuvent être utilisées ;

Selon la première, l'abonné A va notifier au système son désir d'envoyer un objet à l'abonné B. Le système va alors accoupler dans le noeud de commutation les extrémités des tuyaux A et B, par l'intermédiaire d'un prolongateur, et former ainsi un seul long tuyau allant directement de A à B. Dès lors, les deux abonnés peuvent échanger ce qu'ils veulent jusqu'à ce que l'un d'eux prévienne le système que la communication est terminée, ce qui provoque le retrait du prolongateur et le retour à l'état initial.

C'est cette méthode qui est utilisée chaque jour par tout le monde lorsqu'on allume une lampe électrique : le noeud de commutation est tout simplement l'interrupteur (appelé aussi commutateur, notons-le) qui met en contact l'extrémité du fil provenant de l'abonné A, la centrale électrique, avec celle du fil provenant de l'abonné B, l'ampoule électrique.

C'est également cette méthode qui est utilisée lorsqu'on donne un coup de téléphone : l'abonné A compose le numéro de B, c'est-à-dire indique au réseau téléphonique à qui il veut parler. Le (ou les) centraux téléphoniques, qui sont les noeuds de commutations, sélectionnent les bons fils et les mettent effectivement en contact de manière à établir un circuit entre A et B. Cette méthode est appelée **commutation de circuits.**

La commutation de données

Suivant la seconde méthode, l'abonné A envoie l'objet qu'il a à transmettre, sans prévenir personne, mais en ayant collé dessus une étiquette mentionnant : «objet destiné à l'abonné B». L'objet tombe dans un panier situé sous l'orifice du tube provenant de A. Le noeud de commutation reconnait sur l'étiquette que le destinataire est B, sélecte le tuyau correspondant et y introduit l'objet.

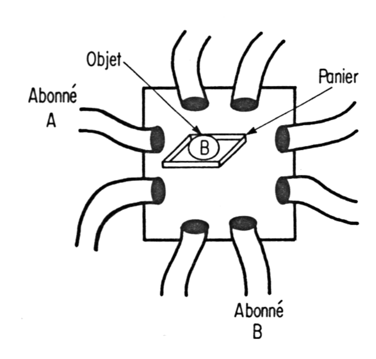


Fig. 4. Commutation de données.

Cette méthode est mise en oeuvre tous les jours par chacun d'entre nous par le simple geste consistant à mettre une lettre à la poste : elle parvient au centre de tri, (qui est le noeud de commutation) et tombe dans un panier. Un peu plus tard un agent des PTT s'en saisira et suivant l'adresse du destinataire la mettra dans tel ou tel sac de courrier (on notera au passage qu'un sac de courrier n'est pas autre chose qu'une ligne multiplexée). On voit qu'ici le noeud de commutation doit être capable d'une part de stocker temporairement les objets et d'autre part de les manipuler. En d'autres termes, il doit être pourvu d'intelligence (au sens où nous l'avons défini pour les terminaux) c'est-à-dire être un ordinateur lorsque les tuyaux sont des lignes de transmission et les objets des suites de bits. Dans ce cas, cette deuxième méthode est appelée commutation de données.

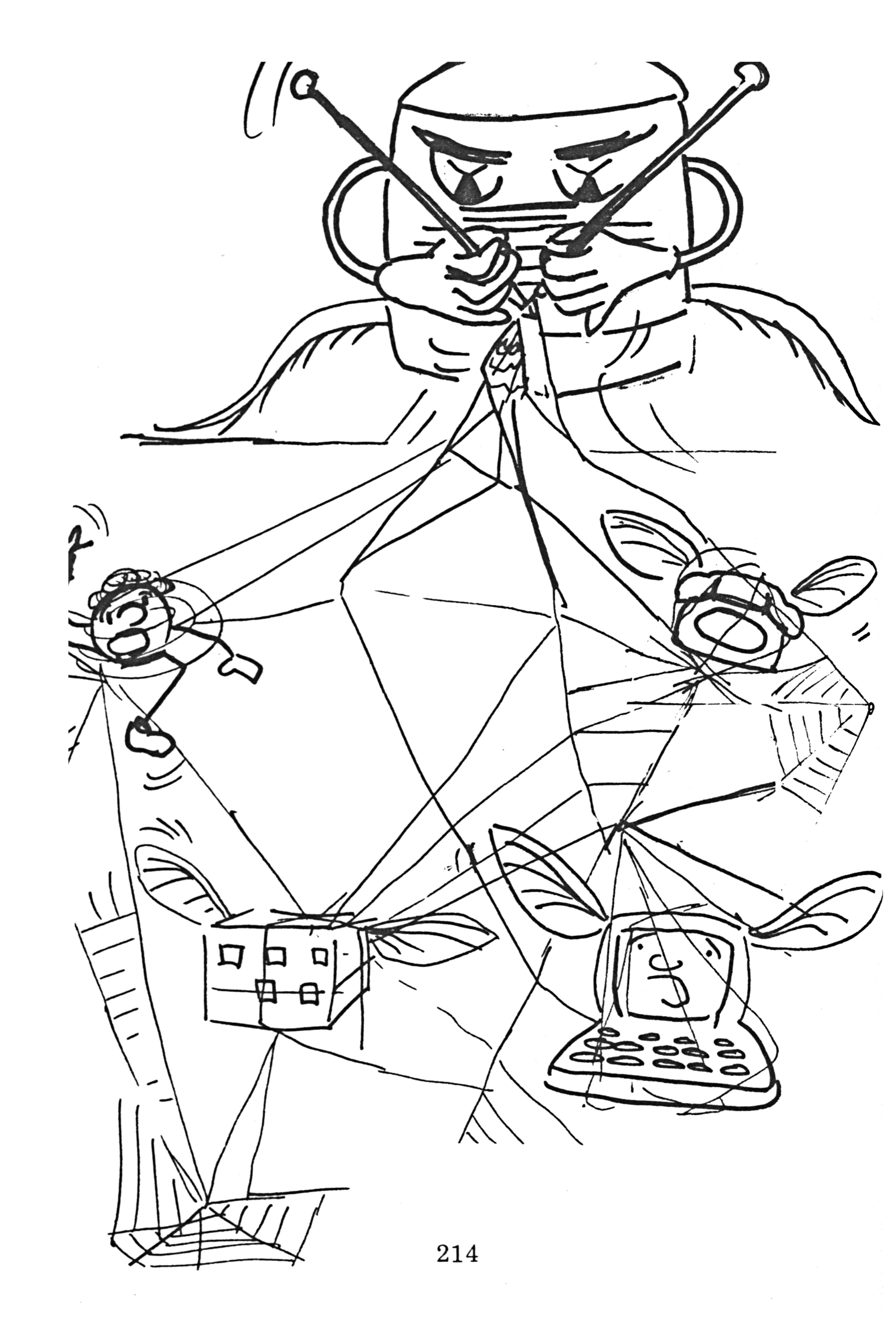
La commutation de messages

Supposons que les abonnés à un réseau à commutation de données échangent entre eux des objets qui soient des suites conséquentes de bits, des fichiers par exemple.

Les noeuds du réseau devront alors disposer de disques sur lesquels seront stockés les messages avant qu'ils ne soient envoyés au destinataire quand la voie est libre. On voit que là les choses se passent d'une manière lente et différée. Le dialogue est véritablement de type postal sans aucun rapport avec l'aspect conversationnel full-duplex d'une communication téléphonique. Ce type de commutation est dit commutation de données par messages ou plus couramment commutation de messages.

Où l'on fait ses paquets !

Supposons maintenant que les suites de bits échangées entre-eux par les abonnés aient une taille maximum faible, de l'ordre de quelques centaines de bits. Les opérations de stockage peuvent alors se faire au niveau de la mémoire centrale du noeud de commutation, et les opérations de commutation peuvent être effectuées à la vitesse de l'ordinateur, c'est-à-dire pratiquement sans délai.



Les interlocuteurs peuvent avoir l'impression d'être en communication directe et avoir une véritable conversation analogue à celle qu'ils auraient sur un circuit continu. (Ceci est à rapprocher du service temps partagé où chacun à l'impression d'avoir le calculateur pour lui tout seul).

Ces suites réduites de bits ainsi échangées sont appelées **paquets** et ce type de commutation est appelé **commutation de données par paquets** ou plus couramment **commutation par paquets.**

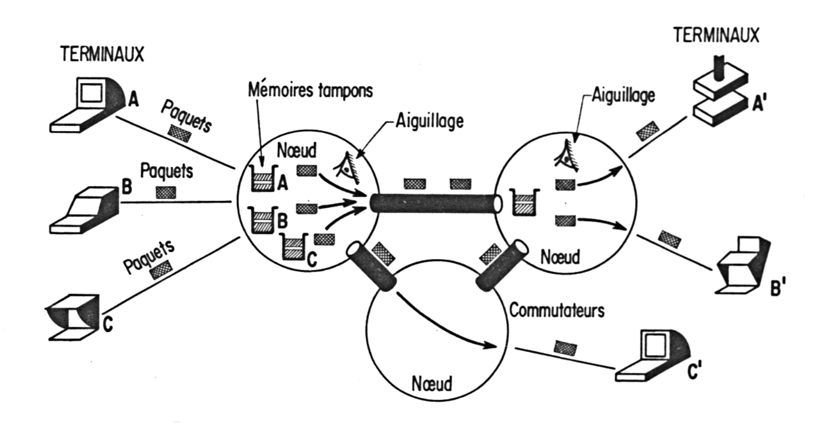


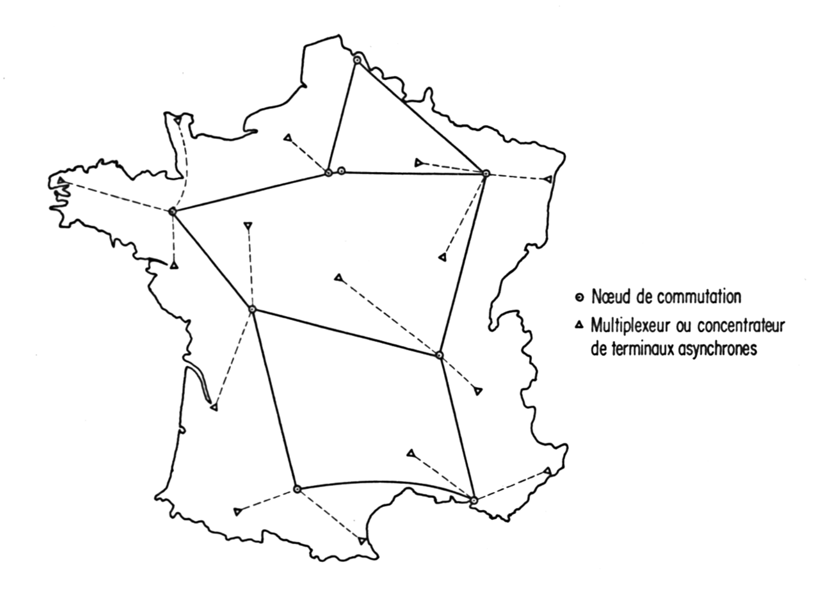
Fig. 5. Commutation de données par paquets.

Tissons notre toile

Nous allons maintenant décrire un exemple de réseau de téléinformatique.

Examinons la carte de la figure 6 sur laquelle nous avons omis de citer les villes concernées, laissant au lecteur le soin de les découvrir par lui-même.

Les lignes entre les noeuds (appelées aussi **commutateurs)** sont à fort débit, par exemple 72000 b/s, et doublées. Les



noeuds, les multiplexeurs et les concentrateurs sont les **points d'accès** au réseau.

Imaginons alors un utilisateur disposant d'un terminal portable et situé à Quimper, voulant travailler sur un ordinateur raccordé au noeud de Marseille. Il va appeler au téléphone le point d'accès de Brest. Une fois que la liaison avec le réseau est établi, il communique à celui-ci le numéro de l'abonné avec lequel il veut converser et le réseau se charge de les mettre en communication.

Le prix à payer sera fonction non de la distance, ni du temps, mais du nombre de bits transmis. Ce mode de tarification est le plus équitable et le plus avantageux pour l'utilisateur. Il est économiquement viable étant donné que les ressources du réseau sont partagées entre un grand nombre d'utilisateurs.

C'est «l'intelligence» située dans les noeuds qui se charge de la répartition de ces ressources, de la manière la plus équilibrée possible.

Il va sans dire que les protocoles de dialogue mis en oeuvre dans un tel réseau sont relativement complexes.

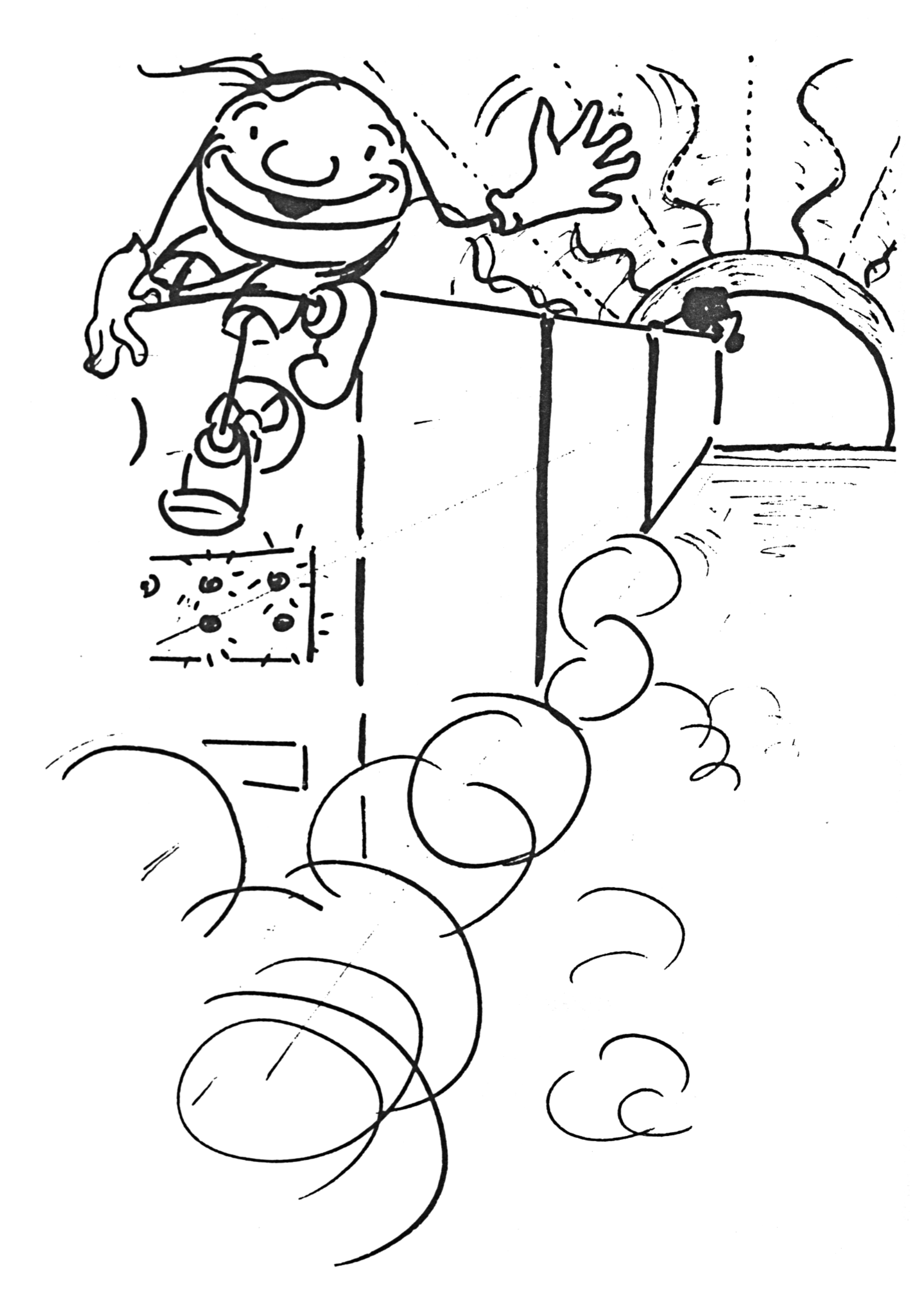
Avantages d'un réseau

Par rapport à une connexion directe par téléphone ou ligne louée, un tel réseau offre des avantages considérables dont nous allons citer certains :

— les tarifs,
— le partage des ressources,
— La sécurité contre les coupures de lignes, étant donné que le nombre de chemins possibles entre deux commutateurs est au moins de deux,
— La protection contre les erreurs de transmission : on peut sur un tel réseau transmettre **dix milliards de bits** avant qu'une erreur non détectée se produise.
— L'asservissement de vitesse : dans le cas d'une ligne directe entre un émetteur et un récepteur, si le premier émet plus vite que le second ne peut recevoir, une quantité d'informations est perdue. Le réseau est capable de ralentir un émetteur pour le régler exactement sur la vitesse du récepteur.

Un tel réseau offre donc fondamentalement un **moyen de transport de l'information**, permettant aux centres de calcul raccordés de mettre à la disposition d'un très grand nombre de clients des applications variées telles que service temps partagé, service de traitement par lots à distance, consultation de bases de données, programmes de traitement spécialisés, etc . . .

Le réseau lui-même peut également offrir des services : le transport de fichiers par exemple, ou le chiffrement de l'information. Il devient alors, par rapport à un simple réseau de transport, un **réseau à valeur ajoutée.**



Et si demain nous était conté !

Il existe déjà dans le monde des réseaux opérationnels de ce type dont le plus connu est ARPANET aux Etats-Unis. En France, les réseaux expérimentaux CYCLADES et RCP ont permis d'être à la pointe du progrès dans ce domaine.

C'est au vu des résultats obtenus avec ces réseaux expérimentaux que l'Administration des PTT a décidé d'offrir les services d'un réseau national public de transmission de données par paquets : TRANSPAC , opérationnel maintenant depuis avril 1979.

La rencontre de techniques aussi complémentaires que l'informatique, les télécommunications et la télévision ouvre une voie révolutionnaire dans la diffusion de l'**Energie de Communication.** Au moment où se met en place toute une série de nouveaux services : Antiope, Télétel, Annuaire électronique.... les promesses de la Télématique nous apparaissent infinies.



Eléments de Bibliographie

Structure et fonctionnement des ordinateurs
J.-P. Meinadier. Larousse Paris 1979.

Encyclopédie of computer Science
A. Ralston, Ch.L. Meek. Petrocelli/Charter, New-York 1976.

Les terminaux à écran
A. Cakir, D. J. Hart, T-F.M. Stewart. Editions d'Organisation, Paris 1980.

Images et ordinateur. Introduction à l'infographie intéractive.
P. Morvan, M. Lucas. Larousse Paris 1976.

Comprendre les microprocesseurs
R. Dubois. Editions du PSI Lagny/Marne 1979.

Systèmes d'exploitation des ordinateurs
CROCUS (Nom collectif). Dunod Paris 1980.

L'Energie de communication
W. Skyvington.SFENA DSI. Vélizy 1979.

Dictionnaire de définitions, micro-électronique, micro-informatique.
Ch. Morvan, CEGOS/Nathan Paris 1980.

Comprendre la micro-informatique
H. Lilen, J.-P. Nières, A. Poly. Hachette et Editions Radio Paris 1980.

La téléinformatique, clé de la télématique
Ph. Vuitton, Ph. Leclercq, M. Bouvier. La Documentation Française. Paris 1978.

L'ordinateur personnel en 15 leçons.
H. Lilen. Editions Radio. Paris 1980.

Le Dictionnaire des réseaux.
G. Delamarre. Informatique et Gestion. Paris 1979.

Informatique par téléphone (APL).
Ph. S. Abrams, G. Lacourly. Hermann. Paris 1972.

TABLE DES MATIERES

8ème Leçon

9ème Leçon

10ème Leçon

11ème Leçon

12ème Leçon

13ème Leçon

14ème Leçon

15ème Leçon

Tout le monde est concerné par l'informatique, chacun d'entre nous doit donc pouvoir la comprendre et accéder à ses techniques.

Dans son livre L'ORDINATEUR ET L'INFORMATIQUE EN 15 LEÇONS, Pierre Morvan spécialiste bien connu dans le domaine des applications de l'ordinateur, répond à votre attente. Avec ses collaborateurs, il vous apporte d'une manière simple les connaissances nécessaires et suffisantes pour dominer cette fameuse informatique.

Devenez les utilisateurs de l'ordinateur...
... et non ses utilisés !

ISBN 2 7091 0860 7



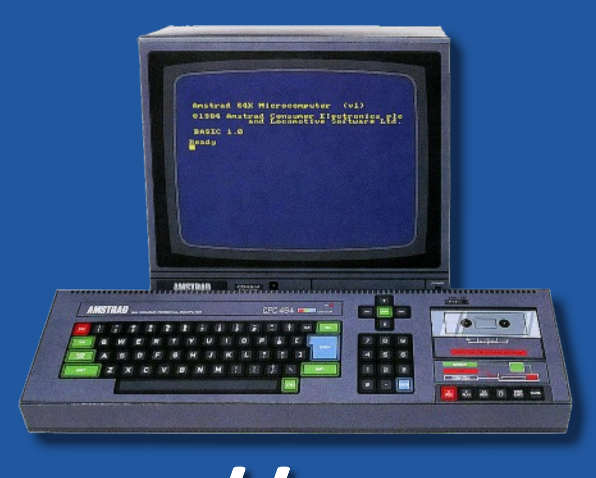
l'ordinateur et l'informatique en 15 leçons P. MORVAN



Document numérisé avec amour par :

AMSTRAD CPC

MÉMOIRE ÉCRITE





https://acpc.me/